



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**IMPLEMENTASI KONTROL FUZZY BERBASIS  
*MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*  
(MPSO) PADA *MOBILE BASED* SISTEM  
PENJEJAK MATAHARI PASIF DUA POROS  
MENGUNAKAN REFLEKTOR**

MOH. DANNI ADITYA  
NRP. 02311440000026

Dosen Pembimbing:  
Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT - TF 141581**

**IMPLEMENTATION OF FUZZY MODIFIED  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION CONTROLS  
(FMP SO) ON MOBILE BASED PASSIVE TWO  
AXES SOLAR TRACKING SYSTEM USING  
REFLECTOR**

**MOH. DANNI ADITYA  
NRP. 02311440000026**

**Supervisor:  
Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME


Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Moh. Danni Aditya  
NRP : 023114410000026  
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Implementasi Kontrol Fuzzy Berbasis *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) Pada *Mobile Based* Sistem Penjejak Matahari Pasif Dua Poros Menggunakan Reflektor" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 25 Juli 2018  
Yang membuat pernyataan,



Moh. Danni Aditya  
NRP. 02311440000026

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI KONTROL FUZZY BERBASIS  
*MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*  
(MPSO) PADA *MOBILE BASED* SISTEM PENJEJAK  
MATAHARI PASIF DUA POROS MENGGUNAKAN  
REFLEKTOR

Oleh:  
Moh. Danni Aditya  
NRP. 02311440000026

Surabaya, 06 Juni 2018

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Ronny Dwi Norivati, M.Kes  
NIPN. 19571126 198403 2 002

Mengetahui,  
Ketua Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



Agas Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 19780902 200312 1 002

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**IMPLEMENTASI KONTROL FUZZY BERBASIS  
MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION  
(MPSO) PADA MOBILE BASED SISTEM PENJEJAK  
MATAHARI PASIF DUA POROS MENGGUNAKAN  
REFLEKTOR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MOH. DANNI ADITYA**  
**NRP. 02311440000026**

1. Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes ..... (Pembimbing)
2. Dr. Imam Abadi, ST., MT. .... (Ketua penguji)
3. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc ..... (Penguji)

**SURABAYA**  
**Juli, 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**IMPLEMENTASI KONTROL FUZZY BERBASIS  
MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION  
(MPSO) PADA MOBILE BASED SISTEM PENJEJAK  
MATAHARI PASIF DUA POROS MENGGUNAKAN  
REFLEKTOR**

**Nama** : Moh. Danni Aditya  
**NRP** : 02311440000026  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

**ABSTRAK**

*Photovoltaic (PV)* memiliki efisiensi yang terbilang kecil yaitu berkisar 14-20% sehingga perlu adanya sistem yang mampu meningkatkan efisiensi dari *photovoltaic* salah satunya dengan penerapan sistem penjejak matahari. Cuaca yang tidak menentu dari letak astronomi dan geografi Indonesia sering menyebabkan sinar matahari terhalau masuk. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan implementasi kontrol fuzzy berbasis *modified particle swarm optimization* (MPSO) pada *mobile based* sistem penjejak matahari pasif dua poros menggunakan fix reflektor dengan kemiringan  $70^\circ$ . Penentuan nilai parameter berupa sensing sudut CMPS, tegangan dan arus dari *photovoltaic* akan mempengaruhi dari implementasi parameter kontrol sistem penjejak. Sehingga diperlukan pengujian sensor CMPS, sensor arus, dan sensor sudut. Untuk tahap selanjutnya uji performansi panel, uji sistem penjejak, dan uji *tracking setpoint* akan memberikan gambaran awal performansi dari sistem. Pada tahap terakhir pengujian sistem penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan menggunakan fix reflektor ( $70^\circ$ ) memberikan indek performansi berupa *error steady state* 4,44%, *rise time* 4,1s, *settling time* 8,7s, dan *maximum overshoot* 11,11% dengan peningkatan daya maximum sebesar 41,06% dibandingkan dengan fix reflektor.

**Kata Kunci** : *Photovoltaic*, Kontrol Fuzzy Modified PSO, *Mobile based*, Reflektor.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**IMPLEMENTATION OF FUZZY MODIFIED PARTICLE  
SWARM OPTIMIZATION CONTROLS (FMPSO) ON  
MOBILE BASED PASSIVE TWO AXES SOLAR  
TRACKING SYSTEM USING REFLECTOR**

**Name** : *Moh. Danni Aditya*  
**NRP** : *02311440000026*  
**Department** : *Teknik Fisika FTI-ITS*  
**Supervisors** : *Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes*

**ABSTRACT**

*Photovoltaic (PV) has a relatively small efficiency which is around 14-20%, it is required for a system that can increase the efficiency of photovoltaic one of them by applying the solar tracking system. Unpredictable weather of the location of astronomy and geography Indonesia often lead dislodges incoming sunlight. Therefore in this final project implementation based on modified fuzzy control swarm optimization (MPSO) in mobile based passive solar tracking system using two axes fixed reflector with a slope of 70 °. Determination of parameter values such as CMPS angular sensing, voltage and current from photovoltaic will affect from the implementation of the tracking system control parameters. So we need testing CMPS sensor, current sensor, and angle sensor. For the next stage of panel performance test, test tracking system, and setpoint tracking test will give an initial picture of the performance of the system. In the last stage, the testing of passive solar tracking system on mobile based by using fix reflector (70 °) gives performance index of steady state error 4,44%, rise time 4,1s, settling time equal to 8,7s, and maximum overshoot equal to 11.11% with a maximum power increase of 41.06% compared to the fix reflector.*

**Keywords:** *Photovoltaic, Fuzzy Modified PSO Control, Mobile based, Reflector.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **“Implementasi Kontrol Fuzzy Berbasis *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) Pada *Mobile Based* Sistem Penjejak Matahari Pasif Dua Poros Menggunakan Reflektor”**.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
2. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati M.Kes, selaku dosen pembimbing beserta dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan, memberikan ilmu, nasihat yang bermanfaat serta dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, dan kemudahan perizinan.
4. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
5. Keluarga, atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Seluruh teman seperjuangan dalam tugas akhir, yaitu terima kasih untuk semuanya.
7. Seluruh teman–teman Departemen Teknik Fisika ITS angkatan 2014, terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh karyawan dan civitas akademika Teknik Fisika ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 25 Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER PAGE .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xx
DAFTAR NOTASI .....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Laporan .....	4
BAB II DASAR TEORI .....	5
2.1 Sistem Penjejak Matahari .....	5
2.2 Photovoltaic .....	6
2.3 Posisi Matahari .....	7
2.4 Logika Fuzzy .....	9
2.5 Modified Particle Swarm Optimization .....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1 Studi Literatur .....	15
3.2 Pengumpulan Data Sekunder .....	16
3.3 Perancangan Sistem Penjejak .....	21
3.4 Pengujian Komponen .....	23
3.5 Perancangan kontrol FMPSO .....	24
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	31
4.1 Kalibrasi Sensor CMPS .....	31
4.2 Kalibrasi Sensor ACS712 .....	35
4.3 Kalibrasi Sensor Tegangan .....	37
4.4 Hasil Uji performansi Panel Surya .....	39

4.5 Pengujian Sistem Penjejak Matahari Pasif .....	41
4.6 Uji Tracking Setpoint .....	46
4.7 Uji Penjejak Pasif pada Fix Based dengan Reflektor .....	49
4.8 Uji Penjejak Pasif pada Mobile Based dengan Reflektor ..	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN .....	48

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram blok pengendalian sistem penjejak pasif..5
<b>Gambar 2.2.</b>	Photovoltaic .....6
<b>Gambar 2.3</b>	Penentuan sudut azimuth, altitude, dan zenit .....7
<b>Gambar 2.4</b>	Sistematika fuzzy logic controller.....10
<b>Gambar 2.5</b>	Pseudo code Particle Swarm Optimization (PSO) .12
<b>Gambar 2.6</b>	Pseudo code LDWPSO .....13
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....15
<b>Gambar 3.2</b>	Pemasangan sensor cmps pada sistem penjejak .....18
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram blok sistem penjejak matahari pasif .....22
<b>Gambar 3.6</b>	Elektrikal passive solar tracking .....23
<b>Gambar 3.7</b>	Uji sensor tegangan .....24
<b>Gambar 3.8</b>	Fungsi keanggotaan input .....25
<b>Gambar 3.9</b>	Fungsi keanggotaan output pitch dan yaw .....26
<b>Gambar 3.10</b>	Tahapan optimisasi fuzzy MPSO .....28
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik regresi arus output sensor .....36
<b>Gambar 4.2</b>	Pengambilan data uji sensor arus ACS712-20A ...36
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik regresi tegangan output sensor.....38
<b>Gambar 4.4</b>	Pengambilan data uji sensor tegangan-25v .....38
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik respon uji tegangan performansi panel .....40
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik respon uji arus performansi panel surya .....40
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik respon uji daya performansi panel surya ....41
<b>Gambar 4.8</b>	Respon uji sistem kontrol sudut altitude .....43
<b>Gambar 4.9</b>	Respon uji sistem kontrol sudut azimuth .....44
<b>Gambar 4.10</b>	Pengambilan data sudut pada NOAA .....47
<b>Gambar 4.11</b>	Respon sudut pitch pada uji tracking setpoint.....48
<b>Gambar 4.12</b>	Respon output yaw pada uji tracking setpoint .....48
<b>Gambar 4.13</b>	Uji tegangan sistem penjejak pada fix based .....49
<b>Gambar 4.14</b>	Uji arus sistem penjejak pasif pada fix based .....50
<b>Gambar 4.15</b>	Performansi energi penjejak pada fix based.....51
<b>Gambar 4.16</b>	Uji tegangan penjejak pasif pada mobile based ...53
<b>Gambar 4.17</b>	Uji arus penjejak pasif pada mobile based .....54
<b>Gambar 4.18</b>	Performansi daya penjejak pada mobile based ....56
<b>Gambar 4.19</b>	Performansi energi penjejak pada mobile based ..57

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Penentuan nilai $n$ untuk perhitungan deklinasi .....	9
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi panel surya.....	17
<b>Tabel 3.2</b>	Spesifikasi Arduino Mega 2560 .....	17
<b>Tabel 3.3</b>	Spesifikasi sensor CMPS .....	18
<b>Tabel 3.4</b>	Spesifikasi sensor arus ACS712-20A .....	19
<b>Tabel 3.5</b>	Spesifikasi sensor tegangan 25V .....	19
<b>Tabel 3.6</b>	Motor dc 12 volt built-in gearbox.....	20
<b>Tabel 3.7</b>	Motor dc 24 volt built-in gearbox.....	21
<b>Tabel 3.8</b>	Spesifikasi driver motor.....	21
<b>Tabel 3.9</b>	Rule base kontrol fuzzy pitch dan yaw .....	27
<b>Tabel 3.10</b>	Parameter input optimisasi.....	28
<b>Tabel 3.11</b>	Parameter input hasil optimisasi .....	28
<b>Tabel 4.1</b>	Pengambilan data kalibrasi sudut pitch sensor CMPS	32
<b>Tabel 4.2</b>	Pengambilan data kalibrasi sudut yaw sensor CMPS	33
<b>Tabel 4.3</b>	Performansi respon sistem kontrol sumbu altitude .....	45
<b>Tabel 4.4</b>	Performansi respon sistem kontrol sumbu azimuth .....	45

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR NOTASI

$n$	: Hari dalam setahun ( 1 tahun = 365 hari )
$\beta$	: <i>Surface slope</i> (derajat)
$\gamma$	: <i>Surface azimuth</i> (derajat)
$\gamma_s$	: Sudut <i>azimuth</i> matahari (derajat)
$\theta_z$	: Sudut <i>zenith</i> (derajat)
$\delta$	: Sudut <i>deklinasi</i> (derajat)
$\omega$	: Sudut jam (derajat)
$\emptyset$	: lintang (derajat)
$v_i^k$	: kecepatan agen $i$ pada iterasi $k$
$\omega$	: fungsi pemberat ( <i>inertia</i> )
$c_i$	: faktor pemberat ke- $i$
$rand$	: nilai acak antara 0 dan 1
$s_i^k$	: posisi terakhir agen $i$ pada iterasi $k$
$pbest_i$	: best dari agen $i$
$gbest$	: nilai $pbest$ terbaik dari kawanan
$\omega_{max}$	: nilai pemberat ( <i>inertia</i> ) awal
$\omega_{min}$	: nilai pemberat ( <i>inertia</i> ) akhir
$iter_{max}$	: jumlah iterasi maksimum
$iter$	: jumlah iterasi terakhir
$s_i^{k+1}$	: posisi agen terkini
$s_i^k$	: posisi agen sebelumnya
$v_i^{k+1}$	: kecepatan agen terkini
$V$	: Tegangan <i>input</i> motor (V)
$\omega$	: Kecepatan angular (rad/s)
$T_m$	: Torsi motor (Nm)
$J_m$	: Inersia motor (Nm.s <sup>2</sup> )
$B_m$	: Konstanta peredaman (Nm.s/rad)
$K_t$	: Konstanta torsi (Nm/A)
$K_b$	: Konstanta <i>emf</i> motor (Vs/rad)
$\hat{H}$	: Histerisis
$t_r$	: <i>Rise time</i> (sekon)
$t_d$	: <i>Delay time</i> (sekon)
$t_p$	: <i>Peak time</i> (sekon)

$t_s$	: <i>Settling time (sekon)</i>
$M_p$	: <i>Maximum overshoot</i>
$e_{ss}$	: <i>Error steady state</i>
$t$	: <i>Waktu (sekon)</i>
$P_{max}$	: <i>Daya maksimum photovoltaik (Watt)</i>
$V_{mp}$	: <i>Maksimum power voltage (Volt)</i>
$I_{mp}$	: <i>Amperage (A)</i>
$V_{oc}$	: <i>Tegangan open circuit (Volt)</i>
$I_{sc}$	: <i>Arus short circuit (A)</i>
AM	: <i>Air Mass</i>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di garis khatulistiwa dimana matahari terus bersinar sepanjang tahun. Secara keseluruhan Indonesia mampu menerima energi dari matahari mencapai  $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ . Hal tersebut mendasari akan pemanfaatan energi matahari yang ramah lingkungan sebagai upaya mengoptimalkan manfaat dari energi baru terbarukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit listrik diperkirakan meningkat pada tahun 2013 hingga 2050 sebesar 18% [1].

PLTS merupakan pembangkit yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Salah satu teknologi PLTS adalah *photovoltaic* dimana perangkat tersebut mampu secara langsung mengkonversi energi dari cahaya matahari. Efisiensi dari *photovoltaic* sendiri masih terbilang kecil yaitu sekitar 14-20% [1]. Kecilnya efisiensi dari *photovoltaic* menjadi permasalahan utama sehingga perlu adanya sistem yang mampu meningkatkan efisiensi dari *photovoltaic*. Salah satu cara mengatasi masalah tersebut dengan penerapan penjejak matahari dimana *photovoltaic* dipastikan selalu tegak lurus dengan arah datangnya matahari untuk memperoleh energi maksimum dari matahari [2].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan implementasi *passive solar tracking system* pada sistem penjejak matahari dengan metode *Zomework* yaitu dengan memanfaatkan panas dari matahari untuk memindahkan cairan dari satu sisi ke sisi lainnya untuk meningkatkan performansi dari *photovoltaic* tanpa menggunakan sistem *motor*, *gear*, dan kendali kontrol sehingga tidak membutuhkan beban tegangan untuk pengoperasian dari sistem itu sendiri. *Zomework* meningkatkan daya dari sistem *photovoltaic* sebesar 23,33% dibandingkan dari *fixed mounts photovoltaic* [3]. Untuk meningkatkan performansi memerlukan adanya pengembangan dari metode yang digunakan untuk dapat memperoleh error sistem yang kecil. Sehingga dari penelitian ini

system penjejak matahari sangat bergantung pada panas matahari untuk memindahkan panel ke sisi lain. Pada kasus lain adanya optimalisasi sistem penjejak matahari dengan dua sumbu menggunakan kendali *fuzzy* berbasis *Particle Swarm Optimization* atau dikenal dengan *FPSO* memberikan hasil yang berbeda dari *Zomework method*. Pada simulasi yang dilakukan pada kendali *FPSO* memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan *Zomework method* maupun dengan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) biasa. Hal ini ditunjukkan dengan nilai peningkatan daya dari simulasi dan eksperimen sebesar 52% dan 60% [4]. Akan tetapi pada sistem ini masih di terapkan pada *fix based photovoltaic* sehingga perlu adanya pengembangan terkait *mobile based photovoltaic*. Penelitian *mobile based* sendiri masih sangat jarang di lakukan, adapun penelitian yang sudah ada terkait *advanced control* dari sistem penjejak matahari yang di letakan pada atap kapal yang bergerak dengan menggunakan *adaptive wide range ANFIS*. Penelitian tersebut didapati mampu menjaga kestabilan titik fokus terhadap matahari pada perubahan posisi dari kapal dengan akurasi mencapai 0,0028% [5]. Dari penelitian sebelumnya telah dilakukan percobaan untuk memaksimalkan daya *output* dari panel surya dengan menggunakan cermin pemantul sinar matahari (reflektor). Hasil dari penelitian tersebut didapati bahwa konfigurasi dari penempatan reflektor mampu meningkatkan daya dari panel surya dengan sudut kemiringan optimal sebesar 70° terhadap panel surya dan peningkatan daya untuk pengujian terhadap sinar matahari langsung mencapai 17,02% pada tingkat iradiasi 1188 Watt/m<sup>2</sup> [6].

Berdasarkan penelitian diatas diperlukan sebuah pengembangan sistem yang mampu memberikan kinerja sistem yang lebih efisien dan efektif yang tidak membutuhkan daya operasi sistem yang besar dan mampu bertahan dari gangguan cuaca. Hal ini mendorong penulis untuk melakukan penelitian dengan mengkombinasikan sistem penjejak matahari pasif pada *photovoltaic* dengan menggunakan modul cmps untuk mensensing perubahan sudut *altitude* dan *azimuth* menggunakan kendali *Fuzzy* berbasis *Modified Particle Swarm Optimization (FMPSO)* serta

penggunaan *mobile based system* dan fix reflektor untuk mengoptimalisasi error sistem.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

- a. Bagaimana menentukan parameter perancangan sistem penjejak matahari pasif?
- b. Bagaimana menentukan parameter kontrol *FMPSO* pada sistem penjejak matahari pasif ?
- c. Bagaimana pengaruh kendali *FMPSO* terhadap performansi kontrol dan performansi *photovoltaic* ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini antara lain.

- a. Menentukan parameter perancangan sistem penjejak matahari pasif.
- b. Mengimplementasikan parameter kontrol *FMPSO* pada sistem penjejak matahari pasif.
- c. Mendapatkan performansi kontrol dan performansi *photovoltaic* dari sistem kendali *FMPSO*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. *Photovoltaic* yang digunakan adalah jenis polikristalin dengan daya 250 WP.
- b. Variabel proses yaitu sudut *altitude* dan sudut *azimuth* matahari.
- c. Sistem kendali yang digunakan adalah *FMPSO* menggunakan *fuzzy* penalaran sugeno.
- d. *Charging system* tidak dipertimbangkan pada *plant* penjejak matahari.
- e. Lokasi pengambilan data di kampus ITS Sukolilo Surabaya.
- f. Tidak membahas sampai sistem penyimpanan listrik.

- g. *Software* aplikasi yang digunakan untuk simulasi MATLAB, IDE Arduino.
- h. Menggunakan fix reflektor.

## 1.5 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, yaitu dengan perincian sebagai berikut:

### **BAB I                   Pendahuluan**

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat tugas akhir dan sistematika laporan.

### **BAB II                 Dasar Teori**

Pada bab ini berisi tentang teori-teori penunjang tugas akhir, antara lain teori tentang sistem penjejak matahari, *photovoltaic*, posisi matahari, logika fuzzy, dan algoritma *modified particle swarm optimization*.

### **BAB III               Metodologi Penelitian**

Dalam bab ini akan dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah perancangan dari *FMPSO* pada sistem penjejak.

### **BAB IV               Analisa Data dan Pembahasan**

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan dan akan didapatkan data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian akan dilakukan analisa dan pembahasan.

### **BAB V               Kesimpulan dan Saran**

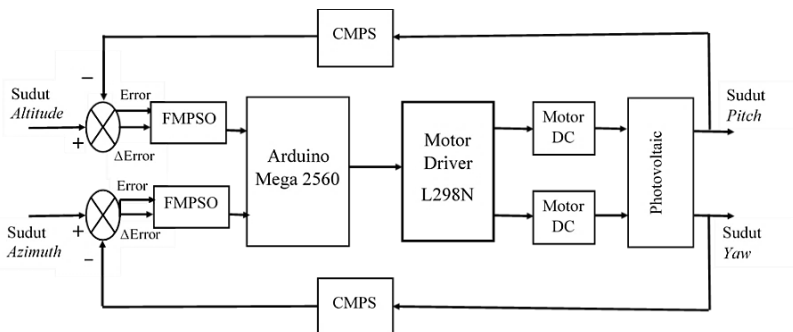
Dalam bab ini adalah berisi mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Sistem Penjejak Matahari

Sistem Penjejak Matahari merupakan sebuah piranti sistem yang mampu mendeteksi dan bergerak mengikuti arah matahari agar selalu tegak lurus. Sistem penjejak memiliki 3 komponen penting yaitu sensor, sistem kontrol, dan panel surya. Menurut D Sharon, dkk (1982) sensor merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi fisika, energi biologi, energi listrik, energi kimia, energi mekanik dan sebagainya. Energi-energi tersebut akan di ubah menjadi besaran listrik berupa tegangan, resistansi, dan arus listrik. Sistem kontrol adalah suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Pada sistem kontrol penjejak matahari terdapat logika kontrol dimana logika-logika tersebut berperan aktif sebagai pengendali dari sistem tersebut. Adapaun tujuan dari sistem penjejak matahari adalah optimalisasi *output* daya pada panel surya. Secara umum pada sistem penjejak pasif memiliki diagram seperti pada Gambar 2.1 dibawah ini.

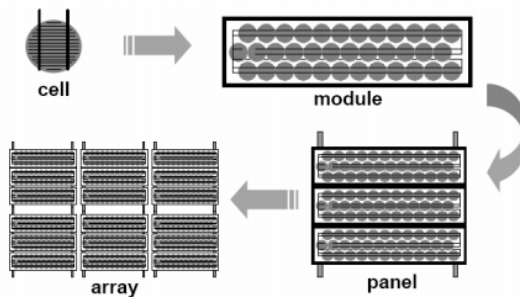


**Gambar 2.1** Diagram blok pengendalian sistem penjejak matahari pasif

Sistem penjejak akan memiliki *output* optimal jika posisi panel tegak lurus dengan arah matahari, sehingga semakin besar deviasi sudut panel akan menyebabkan semakin kecil daya yang dihasilkan. Logika kontrol sistem penjejak sudah memiliki banyak variasi pilihan sehingga sistem penjejak bukanlah sesuatu hal baru dalam penelitian. Meskipun begitu sistem penjejak memiliki tantangan tersendiri bagi para peneliti, karena sistem ini membutuhkan daya pengoperasian yang relatif besar. Oleh karena itu diharapkan pada sistem ini memiliki daya pengoperasian yang relatif kecil sehingga ada daya yang dapat disimpan untuk kebutuhan lain.

## 2.2 Photovoltaic

*Photovoltaic (PV)* atau panel surya merupakan perangkat yang terdiri dari *solar cells* dan mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. *Solar cells* mampu menghasilkan tegangan *output* sebesar 0,5 sampai 0,6 volt, sehingga pada umumnya *solar cells* tersebut akan disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan *output* yang lebih besar.



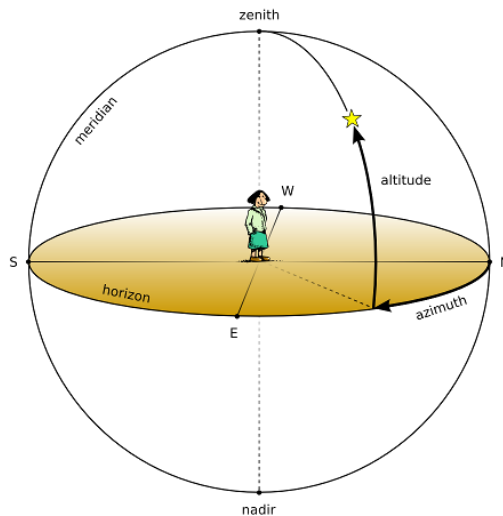
**Gambar 2.2.** Photovoltaic [7]

Didalam *photovoltaic* terdapat sebuah lempengan metal yang mampu melepaskan partikel energi foton ketika permukaan *photovoltaic* tersinari cahaya matahari, proses ini disebut *photoelectric*. Foton tersebut akan bergerak mendesak atom-atom

metal sehingga terjadi partikel energi foton yang bersifat energi cahaya.

### 2.3 Posisi Matahari

Posisi matahari oleh bumi di tentukan berdasarkan sistem koordinat horizontal dengan pusat koordinat berada pada posisi pengamat berupa garis bujur dan garis lintang, sedangkan garis bujur adalah garis yang membujur membagi bola bumi menjadi dua bagian yaitu bumi bagian barat dan timur serta menghubungkan kedua kutub dan melewati kota Greenwich, Inggris. Garis lintang merupakan garis khayal yang digunakan untuk menentukan lokasi di bumi terhadap garis khatulistiwa (utara atau selatan). Koordinat tersebut dipengaruhi oleh 3 sudut yaitu sudut *azimuth* yaitu sudut mendatar yang diukur dari arah  $0^\circ$  searah dengan jarum jam, sudut *altitude* yaitu ketinggian suatu objek diukur dari garis cakrawala/horizon, dan sudut *zenith* yaitu titik teratas tempat pengamat mengamati langit.



**Gambar 2.3** Penentuan sudut azimuth, altitude, dan zenith [8]

Penentuan ketiga sudut tersebut dipengaruhi oleh perhitungan dari sudut *deklinasi*, *hour angle*, dan posisi lintang bumi. *Sudut deklinasi* ( $\delta$ ) terdapat diantara garis yang menghubungkan pusat matahari dengan bumi dan proyeksi di bidang *equator* yang memiliki nilai sudut pada range  $-23,45^\circ$  sampai  $23,45^\circ$ . Sedangkan *hour angle* ( $\omega$ ) adalah besar sudut antara meridian lokal serta posisi matahari dalam satu jam dengan nilai setiap jam sebesar  $15^\circ$ . Sehingga untuk mendapatkan posisi matahari dapat dicari dengan persamaan:

sudut datang (elevasi) :

$$\theta = \cos^{-1} [\cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma)] \quad (2.1)$$

sudut zenith :

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos\omega] \quad (2.2)$$

sudut azimuth :

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left( \frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2} \right) \sigma_w 180^\circ \quad (2.3)$$

dimana :

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin\omega \cos\delta}{\sin\theta_z} \right) \quad (2.4)$$

$$\sigma_{ew} = 1 \text{ if } |\omega| < \omega_{ew} \\ -1 \text{ otherwise} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{ns} = 1 \text{ if } \phi (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 \text{ otherwise} \quad (2.6)$$

$$\sigma_w = 1 \text{ if } \omega \geq 0 \\ -1 \text{ otherwise} \quad (2.7)$$



$$\omega_{ew} = \cos^{-1}(\cos \varnothing \tan \delta) \quad (2.8)$$

sudut deklinasi :

$$\delta = 23,45 \sin(360 \frac{284+n}{365}) \quad (2.9)$$

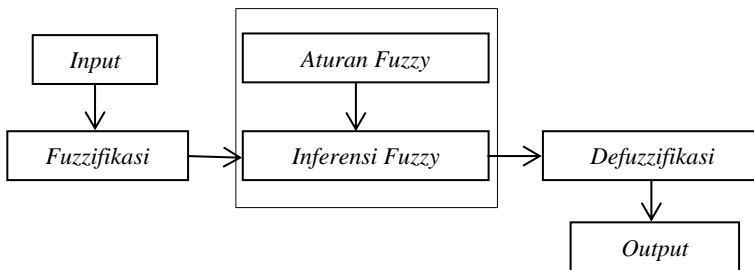
**Tabel 2.1** Penentuan nilai n untuk perhitungan deklinasi

Bulan	n (tanggal- <i>i</i> )
Januari	<i>i</i>
Februari	31 + <i>i</i>
Maret	59 + <i>i</i>
April	90 + <i>i</i>
Mei	120 + <i>i</i>
Juni	151 + <i>i</i>
Juli	181 + <i>i</i>
Agustus	212 + <i>i</i>
September	243 + <i>i</i>
Oktober	273 + <i>i</i>
Nopember	304 + <i>i</i>
Desember	334 + <i>i</i>

## 2.4 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan logika yang menangani sebuah ketidakjelasan dan dikembangkan menjadi sebuah pemodelan melalui derajat kebenaran yang memiliki skala yang terurut. Logika *fuzzy* dapat menyimpan banyak dari sifat logika dasar [9]. Logika Fuzzy menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis [10]. Logika Fuzzy merupakan pengembangan dari konsep Logika Boolean yang menitik beratkan pada konsep kebenaran sebagian, dimana Logika Boolean (klasik) menyatakan bahwa segala hal dapat diekspresikan sebagai bilangan biner atau sebuah kebenaran ( 0 dan 1, hitam dan putih, ya dan tidak) maka Logika Fuzzy menggantikan kebenaran tersebut menjadi sebuah tingkat kebenaran. Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh prof. L.A. Zadeh pada tahun 1965. Struktur

logika Fuzzy memiliki gambaran umum sebagai berikut.



**Gambar 2.4** Sistematika fuzzy logic controller [11]

Gambar 2.4 diatas memiliki penjelasan sebagai berikut:

- a. **Masukan (*Input*)**  
Masukan atau *input* dari logika fuzzy berupa bilangan fisis (*crisp*) atau bilangan real.
- b. **Fuzzyfikasi**  
*Fuzzifikasi* digunakan untuk mengubah *input crisp* menjadi sebuah himpunan *fuzzy*. *Input* crisp tersebut akan dipetakan menjadi sebuah nilai linguistik pada sebuah semesta pembicaraan tertentu yang di sebut nilai *Fuzzy*.
- c. **Rule Base**  
*Rule base* pada *Fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel *input* dan variabel-variabel *output*. Basis aturan *Fuzzy* merupakan kumpulan pernyataan aturan ‘JIKA-MAKA’ atau ‘*IF-THEN*’ yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel *input* sehingga menghasilkan variabel *output* dalam bentuk himpunan *Fuzzy*.
- d. **Inference**  
Inferensi adalah proses transformasi dari suatu *input* dalam domain Fuzzy ke suatu *output* (sinyal kendali) dalam domain Fuzzy. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan–aturan Fuzzy yang terdapat didalam *rule base*.
- e. **Defuzzyfikasi**  
Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi

kontrol *non Fuzzy* (*crisp output*) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol *Fuzzy* yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode *Mean of Maximum* (MOM) dan metode rata-rata terbobot (*weighted average*) atau lebih dikenal sebagai *Center of Area* (COA). Metode MOM, solusi *crisp* diperoleh dengan mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. *Output* pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali *Fuzzy* secara keseluruhan. *Output* ini berupa himpunan *crisp* yang mengendalikan sistem yang dikontrol [10].

## 2.5 Modified Particle Swarm Optimization

Teknik optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) pertama kali dikenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 sebagai sebuah pencarian stokastik yang menggunakan pemodelan masalah melalui ruang  $n$ -dimensional untuk meminimalisasi atau memaksimalkan fungsi objektif sebuah permasalahan. Algoritma PSO pada dasarnya adalah sebuah teknik optimasi yang berbasis populasi untuk mencari solusi optimal menggunakan populasi dari partikel itu sendiri. PSO didasarkan pada ide bahwa setiap kerumunan partikel merupakan sebuah solusi dari ruang solusi [12].

Pada intinya, algoritma PSO menjaga sebuah populasi partikel (*swarm*), dimana tiap partikel didefinisikan oleh lokasinya pada ruang pencarian multidimensional (ruang permasalahan) dan merepresentasikan solusi potensial untuk permasalahan optimisasi yang ada. Partikel mulai berjalan dari lokasi acak dan bergerak di ruang permasalahan untuk mencari nilai minimum atau maksimumnya terhadap fungsi objektif yang diberikan [13]. Pada analogi burung, fungsi ini bisa berupa kualitas atau kuantitas makanan pada tiap tempat, dan kumpulan partikel mencari tempat dengan kualitas terbaik atau kuantitas terbanyak. Tidak seperti banyak metode deterministik, untuk fungsi kontinu optimisasi, PSO tidak menggunakan gradien informasi dalam pencarian solusi. Sehingga tidak mengakibatkan kesalahan fungsi persyaratan terus

menerus untuk perhitungan derivatif [14].

<i>PSO Pseudo-code</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <i>Begin</i></li> <li>(2) <i>Randomly initialize particle swarm</i></li> <li>(3) <b>While</b> (<i>number of iterations, or the stopping criterion is not met</i>)</li> <li>(4) <i>Evaluate fitness of particle swarm</i></li> <li>(5) <b>For</b> <math>n = 1</math> <i>to the number of particle</i></li> <li>(6) <i>Find pbest</i></li> <li>(7) <i>Find gbest</i></li> <li>(8) <b>For</b> <math>d = 1</math> <i>to the number of dimensions of particle</i></li> <li>(9) <i>Update the position of particles sesuai by Eq. (2.10) and Eq. (2.12)</i></li> <li>(10) <i>Next d</i></li> <li>(11) <i>Next n</i></li> <li>(12) <i>Update the inertia weight value with Eq. (2.11)</i></li> <li>(13) <b>Next generation until stopping criterion is met</b></li> <li>(14) <i>End</i></li> </ol>

**Gambar 2.5** Pseudo code Particle Swarm Optimization (PSO)

Kawanan burung mengoptimasikan fungsi objektif tertentu. Nilai terbaik yang pernah dicapai (*pbest*) merupakan analogi dari pengalaman masing-masing agen. Nilai terbaik pada kawanan diantara *pbest* (*gbest*) merupakan analogi dari pengetahuan bagaimana perlakuan terbaik dari agen lainnya. Tiap agen akan mengubah posisinya berdasarkan posisi terakhir ( $x, y$ ), kecepatan terakhir ( $x, y$ ), jarak antara posisi terakhir dengan *pbest*, dan jarak antara posisi terakhir dengan *gbest*. Perubahan kecepatan ini direpresentasikan melalui persamaan (2.10) dibawah ini [15]:

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 rand_1 \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 rand_2 \times (gbest - s_i^k) \quad (2.10)$$

Pada setiap iterasi, nilai fungsi pemberat di-update melalui persamaan (2.11) [15]:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (2.11)$$

Dengan persamaan (2.11), perubahan kecepatan akan mendekati *pbest* dan *gbest* yang dihitung. Dengan adanya perubahan kecepatan, maka posisi agen juga berubah pada tiap iterasi yang dapat dicari melalui Persamaan (2.12) [15].

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.12)$$

<i>LDWPSO Pseudo-code</i>
<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) <i>Begin</i></li> <li>(2) <i>Randomly initialize particle swarm</i></li> <li>(3) <b>While</b> (<i>number of iterations, or the stopping criterion is not met</i>)</li> <li>(4) <i>Evaluate fitness of particle swarm</i></li> <li>(5) <b>For</b> <i>n = 1 to the number of particle</i></li> <li>(6) <i>Find pbest</i></li> <li>(7) <i>Find gbest</i></li> <li>(8) <b>For</b> <i>d = 1 to the number of dimensions of particle</i></li> <li>(9) <i>Update the position of particles sesuai by Eq. (2.10) and Eq. (2.12)</i></li> <li>(10) <b>Next</b> <i>d</i></li> <li>(11) <b>Next</b> <i>n</i></li> <li>(12) <i>Update the inertia weight value with Eq. (2.13)</i></li> <li>(13) <b>Next generation until stopping critiration is met</b></li> <li>(14) <i>End</i></li> </ol>

**Gambar 2.6** Pseudo code LDWPSO

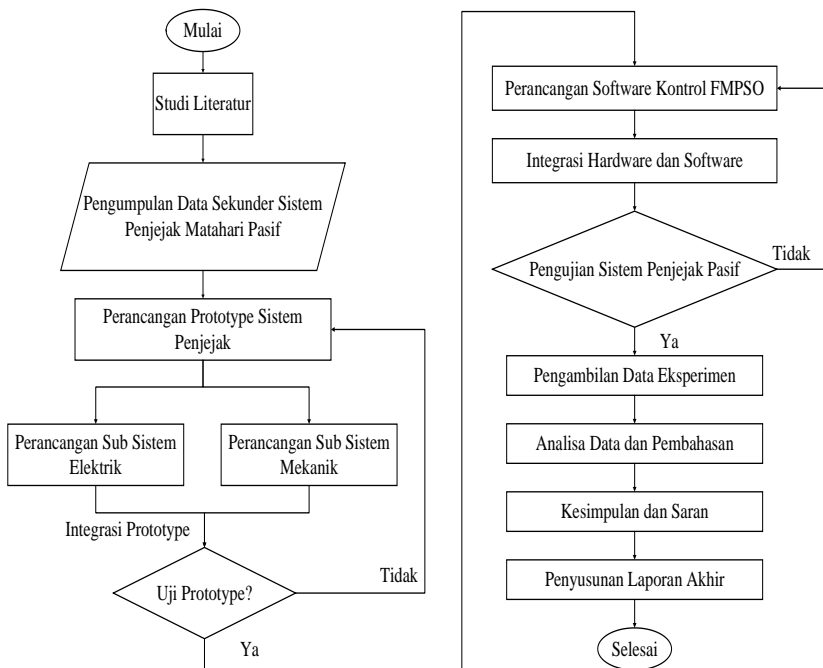
Shi dan Eberhart memodifikasi PSO melalui bobot inersia dari partikel yang dinamakan dengan *Linear Decreasing Particle Swarm Optimization (LDWPSO)*. Bobot inersia PSO menurun dari 0,9 sampai 0,4 melalui proses pencarian iterasi dari PSO [16] [17]. LDWPSO berbeda dengan PSO biasa yaitu pada persamaan nilai bobot inersia diganti menjadi persamaan berikut :

$$w = (w_{max} - w_{min}) \times \frac{iter_{max} - Iter}{iter_{max}} + w_{min} \quad (2.13)$$

Perfomansi LDWPSO meningkat secara signifikan di atas PSO asli karena LDWPSO menyeimbangkan kemampuan pencarian global dan lokal dari gerombolan secara efektif. Algoritma ini juga pernah diteliti oleh Alrijadjis Djoewahir untuk meningkatkan Stabilitas dan akurasi Ultrasonic Motor (2012) dan hasilnya meningkat secara signifikan [18].

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini ditampilkan dengan sebuah diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1 di bawah ini:



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal untuk meningkatkan pemahaman baik teori dasar maupun praktis sebagai pendukung dari sistem yang di uji cobakan pada pengerjaan tugas akhir, sehingga memiliki pengetahuan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dan pengolahan data penelitian. Teori

dasar dapat bersumber dari buku, jurnal, *ebook*, penelitian sebelumnya, *browsing* dari internet, dan dari pustaka lain yang sumbernya dapat dipercaya dan dipertanggungjawabkan.

Teori yang akan dipelajari berupa spesifikasi dan sistem dari sistem penjejak matahari pasif pada *mobile based*, penentuan sudut fix reflektor, metode kendali *FMPSO*, pemodelan sistem, mekanik dan elektrifikasi hardware sistem penjejak matahari pasif, serta pemograman dari sistem kendali *FMPSO* menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560.

### 3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dari sistem penjejak matahari pasif diperlukan untuk mempermudah perancangan dari sistem penjejak matahari, data tersebut dibagi menjadi 3 yaitu berupa data parameter mekanik berupa dimensi struktur kerangka sistem penjejak matahari (yang akan di jabarkan pada sub bab selanjutnya), data parameter elektrik (spesifikasi panel surya, *Microcontroller Arduino Mega 2560*, kompas digital berupa sensor *CMPS*, sensor arus, sensor tegangan, dan *Motor DC*), dan yang terakhir berupa parameter astronomi (posisi garis lintang dan bujur lokasi penelitian pengambilan data primer yang bertempat di kampus ITS Sukolilo Surabaya dengan posisi lintang dan bujur  $7^{\circ}16'53.9''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}47'44.2''\text{BT}$ ). Lokasi ini adalah area terbuka dimana tidak ada pohon atau bangunan yang menghalangi cahaya matahari langsung untuk mengenai panel surya. Berikut merupakan data parameter elektrik sistem penjejak matahari :

#### 3.2.1 Spesifikasi Panel Surya

Panel Surya yang digunakan berjumlah 2 buah identik, dimana panel pertama berfungsi sebagai fixed based panel dan kedua akan di pasang pada sistem penjejak matahari pasif, kedua panel akan bekerja bersamaan dengan kondisi yang sama untuk mengetahui apakah panel benar-benar memiliki kesamaan dalam hal spesifikasi dan karakteristik panel. Panel Surya yang akan di gunakan pada tugas akhir ini di tunjukan dengan data spesifikasi sebagai berikut:



**Tabel 3.1** Spesifikasi panel surya

ST SOLAR	
<i>Max Power (Pmax)</i>	250 W
<i>Type of Cell</i>	<i>Poly-crystalline</i>
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	36,8 V
<i>Maximum Power Voltage (Vpm)</i>	30 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	9 A

*Standard Test Condition (STC) : Irradiation 1000 W/m<sup>2</sup>*

*Air mass AM 1,5*

*\*Calculated using maximum power*

### 3.2.2 Spesifikasi Microcontroller Arduino Mega 2560

Tugas akhir ini menggunakan sebuah piranti kontrol berupa *Microcontroller Arduino Mega 2560*, dimana data spesifikasi *microcontroller* tersebut akan di tampilkan pada Tabel 3.2.

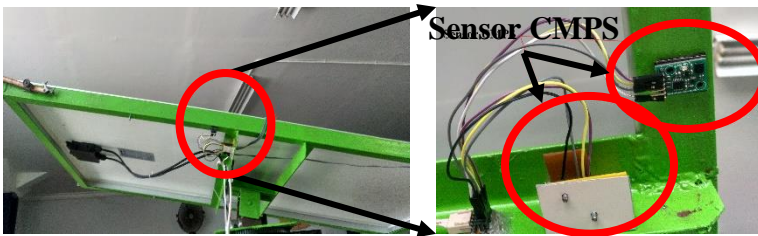
**Tabel 3.2** Spesifikasi Arduino Mega 2560

<i>Spesifikasi Microcontroller Arduino Mega 2560</i>	
<i>Operating voltage</i>	5 V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12 V
<i>Input Voltage (limit)</i>	6-20 V
<i>Digital I/O Pins</i>	54 (of which 15 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	16
<i>DC Current per I/O Pin</i>	20 mA
<i>DC Current for 3,3 V pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	256 KB of which 8 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	8 KB
<i>EEPROM</i>	4 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>LED Built_in</i>	13
<i>Length/Width</i>	101,52/53,3 mm
<i>Weight</i>	37 g

Arduino Mega 2560 digunakan untuk mempermudah penggunaan elektronik dalam bidang kontrol dimana sistem Fuzzy MPSO akan di tanamkan.

### 3.2.3 Spesifikasi Sensor

Sensor yang akan digunakan ada 3 macam, yaitu CMPS sebagai sensor kemiringan sudut baik *pitch* maupun *yaw*. Sensor arus yang akan di gunakan untuk mengetahui besar arus yang keluar dari *photovoltaic* maupun arus yang di gunakan untuk memutar motor. Sensor tegangan diperlukan untuk mengetahui voltase atau tegangan yang keluar dari panel surya sehingga dapat di amati karakteristiknya.



**Gambar 3.2** Pemasangan sensor cmps pada sistem penjejak

**Tabel 3.3** Spesifikasi sensor CMPS

Spesifikasi Sensor CMPS	
<i>Resolution</i>	<i>0,1 Degree</i>
<i>Accuracy</i>	<i>Tilted to +/- 60 degree, 4-5 degree</i>
<i>Output 1</i>	<i>I2C Interface, SMBUS compatible, 0-255 and 0-3599, 100khz</i>
<i>Output 2</i>	<i>Serial Port, 9600 baud, no parity, 2 stop bits and 3,3V-5V signal levels</i>
<i>Output 3</i>	<i>Timing Pulse 1ms to 37 ms in 0,1 ms increments</i>
<i>Dimension</i>	<i>24mm x 18mm</i>

**Tabel 3.4** Spesifikasi sensor arus ACS712-20A

Karakteristik	Kondisi Tes	Spesifikasi
Range akurasi optimal ( $I_p$ )	-	-20 sampai 20 Ampere
Sensitivitas (Sens)	$T_A=25^\circ \text{C}$ ( $I_p=\text{max}$ )	96-104 mV/A
Noise ( $V_{\text{Noise}(PP)}$ )	- <i>peak to peak</i> - $T_A=25^\circ \text{C}$ -Sens=100 mV/A $C_F=45 \text{ nF}$	11 mV
Error output (E)	$I_p=\pm 20 \text{ A}$ , $T_A=25^\circ \text{C}$	$\pm 1,5\%$

**Tabel 3.5** Spesifikasi sensor tegangan 25V

Range akurasi optimal ( $V_p$ )	0,025 – 25 V
Ketelitian pengukuran	0,004489 V
Tegangan input sensor	3,3 – 5 V

Tabel 3.3 , Tabel 3.4 , dan Tabel 3.5 merupakan data spesifikasi dari sensor CMPS, sensor arus, dan sensor tegangan yang akan di gunakan dalam rancang bangun sistem penjejak matahari pasif pada *mobile based*.

### 3.2.4 Spesifikasi Aktuator

Sistem penjejak matahari pada panel menggunakan aktuator berupa dua buah motor DC, pemilihan motor DC sebagai aktuator adalah karena dibutuhkannya gerak panel yang konstan atau sedikit guncangan sehingga dipastikan osilasi dari panel tidak ada yang mengakibatkan pembacaan dari sudut akan semakin baik.

Motor DC juga dapat di atur kecepatannya menggunakan fungsi PWM. PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Pada satu kali siklus pulsa merupakan kondisi *high* kemudian berada pada zona transisi ke kondisi *low*. Lebar dari pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. *Duty cycle* merupakan merupakan representasi dari kondisi logika *high* dalam

suatu periode sinyal yang di nyatakan dalam bentuk persen (%) dengan jangkauan 0% sampai 100%. Pada pengaturan kecepatan motor DC semakin besar nilai dari *duty cycle* yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap kecepatan putar motor, sebaliknya jika nilai *duty cycle* kecil maka cepat putaran motor juga akan melambat.

Pengaturan PWM pada motor DC tersebut digunakan sebagai penggerak sudut *pitch* dan *yaw* dari panel surya. Sudut *pitch* sendiri merupakan sudut yang terbentuk akibat gerakan mengguk atau gerakan keatas dan kebawah dari panel, sedangkan sudut *yaw* merupakan sudut yang terbentuk akibat gerakan menggeng atau gerakan ke kanan dan ke kiri pada panel. Kapasitas motor DC yang digunakan sebesar 12 volt untuk penggerak pergeseran sudut *yaw* dan kapasitas 24 volt untuk penggerak pergeseran *pitch*. Perbedaan kapasitas motor dikarenakan adanya beban yang berbeda dari masing-masing motor. Dalam mempermudah pengaturan dari gerak arah motor di perlukan sebuah motor driver, dimana *motor driver* juga berperan sebagai pengatur kecepatan dari motor. Sumber tegangan dari kedua motor adalah sebuah baterai (Aki) dimana aki memiliki *output* tegangan sebesar 12 yang akan di *step up* atau di naikan *output* tegangannya agar mampu menggerakkan motor dari sudut *yaw* yang memiliki kapasitas tegangan maksimum 24 volt. Berikut data spesifikasi dari motor dan *motor driver* yang digunakan dalam rancang bangun:

**Tabel 3.6** Motor dc 12 volt built-in gearbox

<i>Characteristic</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Operating Voltage</i>	4,5-18	V
<i>Startup Torque (kilogram-force centimeter)</i>	3,6	KG,CM
<i>Startup Torque (inch-pound)</i>	3,1	Inch.lbf
<i>Gear Ratio</i>	30:1	
<i>No-Load Current (12V)</i>	0,053	A
<i>Stall Current</i>	1,5	A
<i>No-Load Speed (12V)</i>	200	RPM

**Tabel 3.7** Motor dc 24 volt built-in gearbox

<i>Characteristic</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Operating Voltage</i>	4,5-32	V
<i>Startup Torque (kilogram-force centimeter)</i>	15	KG.CM
<i>Startup Torque (inch-pound)</i>	13,0194	Inch.lbf
<i>Gear Ratio</i>	1:12,5	
<i>No-Load Current (24V)</i>	0,053	A
<i>Stall Current</i>	1,5	A
<i>Motor RPM (24V)</i>	6500	RPM
<i>Reduce Gear RPM (24V)</i>	500	RPM

**Tabel 3.8** Spesifikasi driver motor

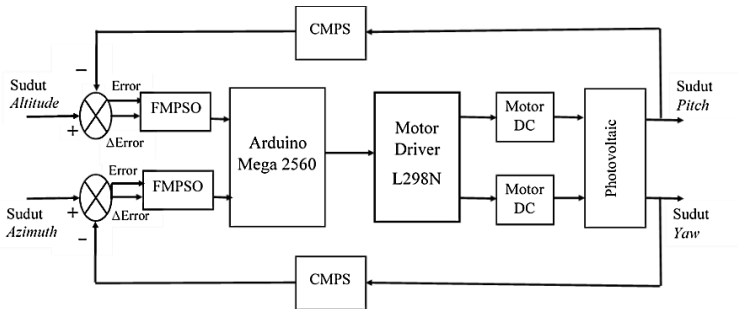
Spesifikasi Modul Driver Motor L298N	
Chip IC	IC L298N ( <i>Double H Bridge Drive Chip</i> )
Tegangan <i>Input</i>	5VDC-35VDC
Tegangan Operasional	5 VDC
Arus <i>Input</i>	0-36 mA
Arus <i>output</i> maksimum	2 A
Daya Optimum	25 Watt

Pada *motor driver L298N* dapat mengatur maksimal 2 motor dc sekaligus sehingga dapat menghebat biaya dan tempat pada panel box.

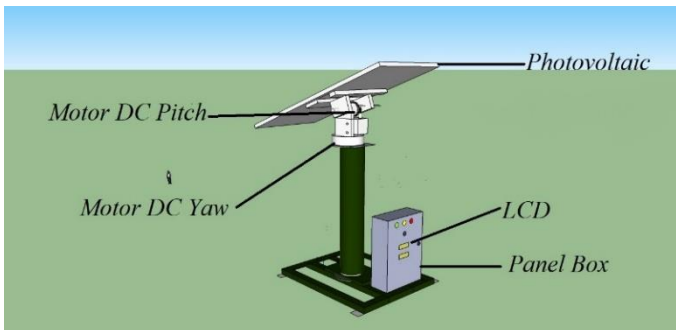
### 3.3 Perancangan Sistem Penjejak

Tahap awal untuk perancangan sistem penjejak dengan mendesain sistem hardware yang akan digunakan. Tahap ini akan melakukan realisasi dari sistem penjejak matahari baik sistem mekanis maupun sistem elektriknya. Dalam perancangan sistem mekanis akan di buat alat sesuai dengan desain yang telah dibuat menggunakan software *SketchUp 2015* sebagaimana pada Gambar 3.4 dan bentuk realisasi dari desain adalah sesuai dengan Gambar 3.5 dimana sistem penjejak matahari telah terpasang 2 cermin

reflektor yang terpasang di ujung timur dan barat panel.



**Gambar 3.3** Diagram blok sistem penjejak matahari pasif

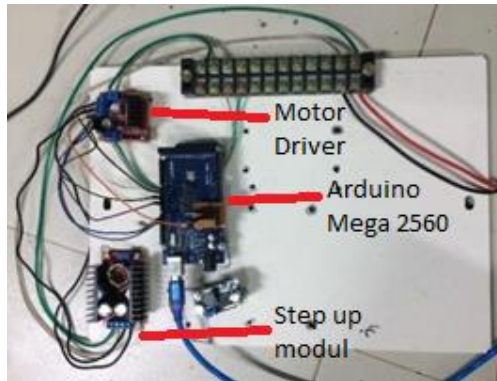


**Gambar 3.4** Desain sistem penjejak



**Gambar 3.5** Hardware penjejak matahari

Setelah pembuatan rangka penjejak matahari langkah selanjutnya adalah pembuatan sistem elektriknya yang akan dipasang pada *panelbox*. Gambar 3.6 merupakan rangkaian sistem elektrik penjejak matahari pasif pada *mobile based*.



**Gambar 3.6** Elektrikal passive solar tracking

Gambar 3.6 merupakan rangkaian elektrik dari sistem penjejak dimana arduino mega 2560 bertugas sebagai mikrokontroler. *Step up* module berfungsi untuk menaikkan tegangan input supply dari 12 VDC menjadi 18VDC yang akan menjadi sumber *input* bagi motor dc sumbu pitch. Motor driver berfungsi sebagai pengatur PWM yang akan menggerakkan motor dc.

### 3.4 Pengujian Komponen

Pengujian komponen dilakukan untuk mengetahui performansi kerja sensor, adapun sensor yang di uji adalah sensor arus ACS712-20A dan sensor tegangan yang akan di gunakan untuk mengukur arus dan tegangan *output photovoltaic*, sensor CMPS yang digunakan untuk mengukur perubahan sudut *pitch* dan *yaw*, dua aktuator motor DC, dan terakhir pengujian performansi *photovoltaic*. Rangkaian pengujian bertujuan untuk memastikan komponen yang digunakan berfungsi dan mengetahui karakteristik performansi serta pembacaan konvensional dari sensor.



**Gambar 3.7** Uji sensor tegangan

Gambar 3.7 merupakan uji sensor tegangan menggunakan arduino uno sebagai *analogread* untuk pembacaan dari tegangan *output*, sedangkan regulator tegangan digunakan sebagai *supply* yang akan di ukur.

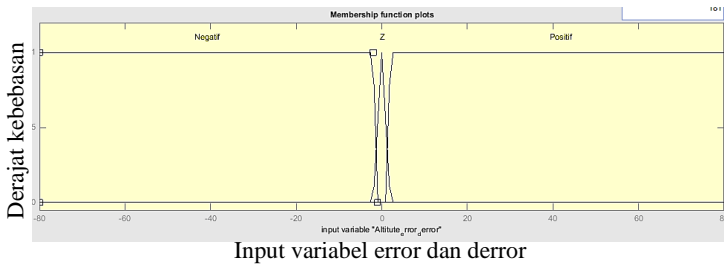
### 3.5 Perancangan kontrol FMPSO

Perancangan kontrol *FMPSO* dilakukan dengan memberikan kontrol *FMPSO* pada sistem untuk mendapatkan performansi maksimum pada panel surya. Kontrol *FMPSO* tersebut memiliki batas-batas variabel linguistik yang perlu di tentukan dengan sebuah validasi yang tepat sebelum melakukan pemodelan dari sebuah sistem kendali.

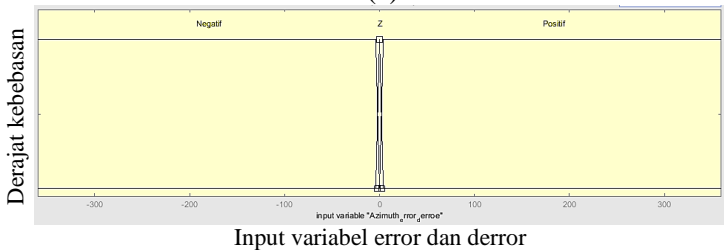
Pemodelan sistem penjejak matahari memiliki dua bagian, yaitu sistem latih yang menerapkan algoritma *Modified Particle Swarm Optimization* dan sistem uji yang menerapkan algoritma *Inferensi Fuzzy Sugeno*. *Fuzzy Sugeno* dipilih karena *output* kontrol yang digunakan dalam sistem penjejak adalah sebuah sinyal PWM untuk mengatur kecepatan putar dan gerak dari motor, karena kelebihan tersebut tipe Fuzzy Sugeno sangat cocok untuk digunakan pada sistem. Pada tahap sebelumnya kita menentukan terlebih dahulu batas-batas linguistik secara keseluruhan pada sistem. Batas tersebut akan masuk ke tahap latih yaitu optimisasi dari algoritma *Modified Particle Swarm Optimization* untuk



mendapatkan batas optimal dari variabel linguistik. Batas-batas optimal variabel tersebut selanjutnya akan menjadi batas-batas fungsi keanggotaan untuk sistem uji. Sehingga kendali *FMPSO* akan mendapatkan input dari batas fungsi keanggotaan sistem uji. Dari variabel tersebut akan dilakukan *Fuzzifikasi* dan setelah itu melalui proses Inferensi untuk mendapatkan *output* kendali *FMPSO* yang akan di terapkan pada sistem panel surya.



(a)

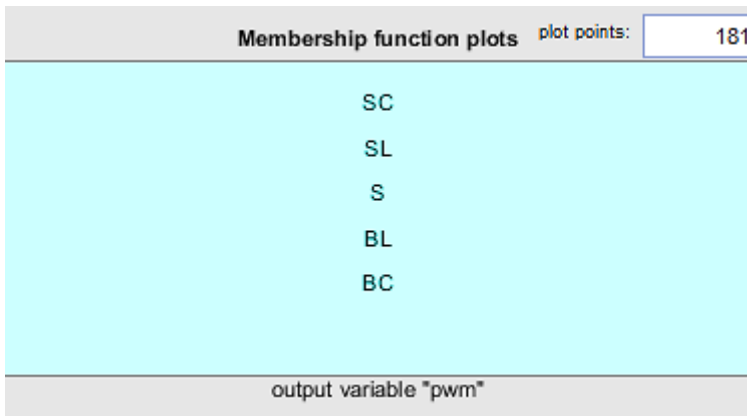


(b)

**Gambar 3.8** Fungsi keanggotaan input (a) pitch (b) yaw

Fungsi keanggotaan input memiliki dua buah bentuk yaitu fungsi trapesium dan segitiga sebagaimana terlihat pada Gambar 3.8. Pada *pitch* dan *yaw* fungsi keanggotaan Zero adalah segitiga dengan rentang  $-2^\circ$  hingga  $+2^\circ$ , sedangkan untuk Negatif dan Positif berbentuk trapesium. *Pitch* memiliki batas tepi Negatif Positif yaitu  $-80^\circ$  dan  $+80^\circ$ , berbeda dengan *yaw* yang memiliki batas tepi Negatif Positif sebesar  $-360^\circ$  dan  $+360^\circ$ . Perbedaan jangkauan pada fungsi keanggotaan trapesium Negatif Positif

tersebut berhubungan dengan sistem kerja sensor sudut (CMPS) yang digunakan dalam mensensing sudut yang terbentuk dari panel penjejak, dimana pada *yaw* sumbu putar maksimum adalah  $360^\circ$  memutar sumbu horizontal dengan jangkauan yang lebih lebar dan untuk *pitch* sumbu putar maksimum adalah  $90^\circ$  memutar sumbu vertikal. Sedangkan untuk variabel *output* berupa PWM dengan 5 fungsi keanggotaan seperti pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Fungsi keanggotaan output pitch dan yaw

Fungsi kenggotaan variabel output sebanyak lima yaitu searah cepat (SC), searah lambat (SL), stop (S), berlawanan lambat (BL), dan yang terakhir berlawanan cepat (BC). Untuk SC dan BC memiliki sinyal PWM 255, dan sinyal 200 untuk kasus SL dan BL, sedangkan pada *stop* memiliki sinyal low (0). *Input Fuzzy* berjumlah dua yaitu *error* dan *delta error* sedangkan *output* yang digunakan berupa sinyal PWM, dari 2 *input* dan 1 *output* tersebut dirancang 9 *rule base* sebagai pengambil keputusan dari sistem kontrol. *Error* sendiri merupakan selisih sudut dari database NOAA (*set value*) dengan sudut hasil pembacaan dari sensor CMPS (*present value*) sedangkan *delta error* adalah selisih antara *error* saat *t* dengan *error* saat *t-1*.

**Tabel 3.9** Rule base kontrol fuzzy pitch dan yaw

Error Delta Error	Negatif	Zero	Positif
Negatif	BC	S	SC
Zero	BL	S	SL
Positif	BC	S	SC

PSO sebagai optimisasi dari parameter fungsi keanggotaan fuzzy dirancang berdasarkan fungsi objektif yang telah ditentukan yaitu *Mean Square Error* (MSE). Fungsi keanggotaan fuzzy input (error dan delta error) yang akan dioptimisasi sebagaimana bentuk dari fungsi segitiga dan trapesium dari fungsi keanggotaan Negatif, Zero, dan Positif. Langkah-langkah dalam melakukan optimisasi fungsi keanggotaan fuzzy dengan PSO dilakukan dengan tahapan seperti pada gambar 3.10.

Adapun inisiasi awal untuk optimisasi PSO adalah sebagai berikut:

$I_{max} = 100$

$N = 30$

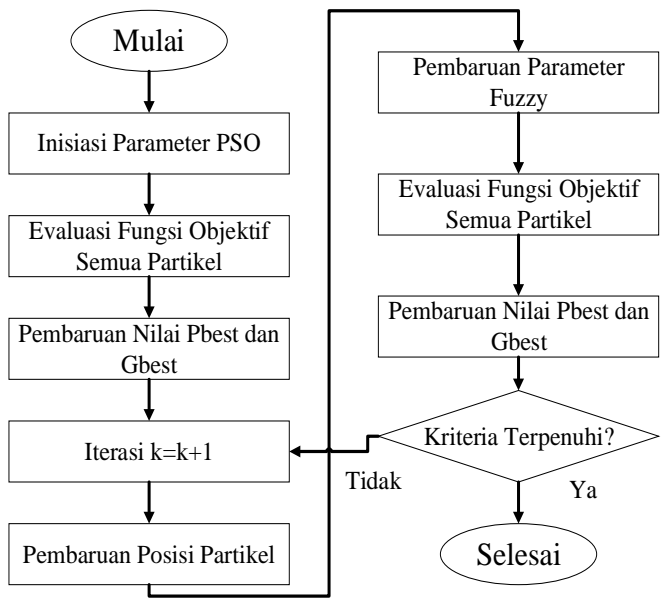
$C1 = 2$

$C2 = 2$

$W_{max} = 0,9$

$W_{min} = 0,3$

$I_{max}$  menggambarkan iterasi *default maximum* sejumlah 100 kali pada iterasi PSO, sedangkan  $N$  adalah jumlah partikel *swarm* yang akan di iterasi.  $C1$  adalah *learning rate* kemampuan kognitif individu yang menggambarkan tingkat kepercayaan partikel terhadap dirinya sendiri sedangkan  $C2$  adalah parameter yang menyatakan seberapa besar kepercayaan partikel terhadap lingkungan.  $C1$  dan  $C2$  bernilai sama yaitu 2 yang menyebabkan semua partikel akan mengarah pada titik yang mempresentasikan nilai rata-rata dari  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  dengan kecepatan sama, sedangkan  $W$  adalah bobot pemberat untuk mengurangi kecepatan partikel.



**Gambar 3.10** Tahapan optimisasi fuzzy MPSO

**Tabel 3.10** Parameter input optimisasi

Bilangan Fuzzy	Parameter input yang dioptimisasi	
	Error	Delta error
Negatif	[-80 -80 -2 -1]	[-80 -80 -2 -1]
Zero	[-2 0 2]	[-2 0 2]
Positif	[1 2 80 80]	[1 2 80 80]

**Tabel 3.11** Parameter input hasil optimisasi

Bilangan Fuzzy	Parameter input yang dioptimisasi	
	Error	Delta error
Negatif	[-80 -80 -2 -1.154]	[-80 -80 -2 -1.154]
Zero	[-1.743 0 1.595]	[-1.743 0 1.595]
Positif	[1.333 2 80 80]	[1.333 2 80 80]

Optimisasi berlangsung pada program software *matlab*

*R2014b* dengan hasil yang digunakan sebagai *update* fungsi keanggotaan dari fuzzy. Pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11 merupakan parameter input yang di optimisasi dan hasil dari optimisasi MPSO. Hasil optimisasi memberikan rentang baru dari fungsi keanggotaan fuzzy untuk setiap bilangan. Sehingga variabel input dari fungsi keanggotaan akan berubah menyesuaikan dari hasil optimisasi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini memberikan 2 tahapan penting tentang pengambilan data dari *mobile based* sistem penjejak matahari pasif, yaitu tentang kalibrasi beberapa komponen seperti sensor CMPS, sensor arus, dan sensor tegangan. Tahap kedua menjelaskan tentang bagaimana hasil uji respon dari sistem kontrol yang telah di desain sebelumnya.

#### **4.1 Kalibrasi Sensor CMPS**

Kalibrasi merupakan kegiatan untuk menentukan nilai kebenaran konvensional dari alat ukur dan alat uji dengan cara membandingkan dari nilai standar ukur yang telusur ke standar nasional maupun internasional. Sedangkan kalibrasi dari sensor CMPS adalah kegiatan untuk menentukan nilai kebenaran konvensional dengan cara membandingkan sensor CMPS sebagai sensing sudut *pitch* dengan sebuah referensi berupa penggaris busur dan CMPS sebagai sensing sudut *yaw* dengan referensi sebuah digital kompas.

Adapun tujuan kalibrasi CMPS adalah untuk menentukan nilai dari standar deviasi dan ketidakpastian pengukuran berupa  $U_{A1}$  dari sudut *pitch* dan *yaw* sistem penjejak matahari. Pada lampiran A di dapatkan hasil dari pengambilan data kalibrasi sudut *pitch* dan *yaw* dimana nilai standar deviasi tertinggi di dapatkan pada sudut  $40^\circ$  dan  $210^\circ$  untuk sudut *pitch* dengan standar deviasi  $0,04^\circ$  dan  $240^\circ$  untuk sudut *yaw* dengan standar deviasi  $0,41^\circ$ . Sedangkan untuk nilai ketidakpastian pengukuran  $U_{A1}$  sebesar  $0,02^\circ$  dan  $0,18^\circ$  untuk sudut *pitch* dan *yaw*. Pada pembacaan busur  $40^\circ$  *pitch* hasil pengukuran sesungguhnya dapat di tuliskan dengan nilai  $39,96^\circ \pm 0,04^\circ$  yang berarti pada pengukuran  $40^\circ$  memiliki nilai batas bawah sebesar  $39,92^\circ$  dan untuk batas atas sebesar  $40^\circ$ . Hal sebaliknya juga berlaku untuk pengukuran sudut *yaw* pada pembacaan digital kompas  $240^\circ$  dengan nilai pengukuran sesungguhnya  $239,5^\circ \pm 0,41^\circ$  yang berarti pada sudut  $240^\circ$  memiliki rentang pengukuran batas bawah sebesar  $239,09^\circ$  dan

untuk batas atas sebesar  $239,91^\circ$ . Hasil pengukuran sesungguhnya untuk keseluruhan sudut *pitch* dan *yaw* dapat di lihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Pengambilan data kalibrasi sudut pitch sensor CMPS

Pembacaan $\angle pitch$ pada busur ( $^\circ$ )	Pembacaan rata-rata $\angle pitch$ pada sensor ( $^\circ$ )	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
0	0	0	$0^\circ \pm 0^\circ$
10	10,00	0,00	$10^\circ \pm 0^\circ$
20	19,60	0,00	$19,6^\circ \pm 0^\circ$
30	30,00	0,00	$30^\circ \pm 0^\circ$
40	39,96	0,04	$39,96^\circ \pm 0,04^\circ$
50	50,00	0,00	$50^\circ \pm 0^\circ$
60	60,00	0,00	$60^\circ \pm 0^\circ$
70	69,90	0,00	$69,9^\circ \pm 0^\circ$
80	80,00	0,00	$80^\circ \pm 0^\circ$
90	90,00	0,00	$90^\circ \pm 0^\circ$
100	100,00	0,00	$100^\circ \pm 0^\circ$
110	109,80	0,00	$109,8^\circ \pm 0^\circ$
120	119,90	0,00	$119,9^\circ \pm 0^\circ$
130	130,00	0,00	$130^\circ \pm 0^\circ$
140	139,90	0,00	$139,9^\circ \pm 0^\circ$
150	149,90	0,00	$149,9^\circ \pm 0^\circ$
160	159,90	0,00	$159,9^\circ \pm 0^\circ$
170	169,88	0,04	$169,88^\circ \pm 0,04^\circ$
180	180,20	0,00	$180,2^\circ \pm 0^\circ$
190	189,82	0,04	$189,82^\circ \pm 0,04^\circ$
200	199,98	0,04	$199,98^\circ \pm 0,04^\circ$
210	209,84	0,04	$209,84^\circ \pm 0,04^\circ$



Lanjutan Tabel 4.1 Pengambilan data kalibrasi sudut pitch sensor CMPS

Pembacaan $\angle pitch$ pada busur ( $^{\circ}$ )	Pembacaan rata-rata $\angle pitch$ pada sensor ( $^{\circ}$ )	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
220	219,90	0,00	$219,9^{\circ} \pm 0^{\circ}$
230	230,00	0,00	$230^{\circ} \pm 0^{\circ}$
240	240,10	0,00	$240,1^{\circ} \pm 0^{\circ}$
250	250,00	0,00	$250^{\circ} \pm 0^{\circ}$
260	259,92	0,04	$259,92^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
270	269,98	0,04	$269,98^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
280	279,92	0,01	$279,92^{\circ} \pm 0,01^{\circ}$
290	290,00	0,00	$290^{\circ} \pm 0^{\circ}$
300	300,00	0,00	$300^{\circ} \pm 0^{\circ}$
310	310,00	0,00	$310^{\circ} \pm 0^{\circ}$
320	320,00	0,00	$320^{\circ} \pm 0^{\circ}$
330	330,00	0,00	$330^{\circ} \pm 0^{\circ}$
340	340,00	0,00	$340^{\circ} \pm 0^{\circ}$
350	350,00	0,00	$350^{\circ} \pm 0^{\circ}$
360	360,00	0,00	$360^{\circ} \pm 0^{\circ}$

**Tabel 4.2** Pengambilan data kalibrasi sudut yaw sensor CMPS12

Pembacaan $\angle yaw$ pada busur ( $^{\circ}$ )	Pembacaan rata-rata $\angle yaw$ pada sensor ( $^{\circ}$ )	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
0	0	0	$0^{\circ} \pm 0^{\circ}$
10	10,04	0,08	$10,04^{\circ} \pm 0,08^{\circ}$
20	19,98	0,04	$19,98^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
30	27,92	0,16	$27,92^{\circ} \pm 0,16^{\circ}$
40	38,26	0,05	$38,26^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$
50	50,18	0,07	$50,18^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$

Lanjutan Tabel 4.2 Pengambilan data kalibrasi sudut yaw Sensor CMPS12

Pembacaan $\angle$ yaw pada busur ( $^{\circ}$ )	Pembacaan rata-rata $\angle$ yaw pada sensor ( $^{\circ}$ )	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
60	56,98	0,04	$56,98^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
70	70,12	0,04	$70,12^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
80	80,44	0,10	$80,44^{\circ} \pm 0,1^{\circ}$
90	89,92	0,07	$89,92^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
100	100,22	0,15	$100,22^{\circ} \pm 0,15^{\circ}$
110	110,12	0,04	$110,12^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
120	120,42	0,07	$120,42^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
130	130,20	0,13	$130,2^{\circ} \pm 0,13^{\circ}$
140	140,22	0,16	$140,22^{\circ} \pm 0,16^{\circ}$
150	149,80	0,11	$149,8^{\circ} \pm 0,11^{\circ}$
160	159,80	0,09	$159,8^{\circ} \pm 0,09^{\circ}$
170	169,36	0,15	$169,36^{\circ} \pm 0,15^{\circ}$
180	180,06	0,08	$180,06^{\circ} \pm 0,08^{\circ}$
190	190,20	0,14	$190,2^{\circ} \pm 0,14^{\circ}$
200	200,38	0,12	$200,38^{\circ} \pm 0,12^{\circ}$
210	209,88	0,07	$209,88^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
220	219,70	0,06	$219,7^{\circ} \pm 0,06^{\circ}$
230	229,84	0,10	$229,84^{\circ} \pm 0,1^{\circ}$
240	239,50	0,41	$239,5^{\circ} \pm 0,41^{\circ}$
250	249,96	0,05	$249,96^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$
260	260,14	0,05	$260,14^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$
270	269,98	0,07	$269,98^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
280	279,90	0,06	$279,9^{\circ} \pm 0,06^{\circ}$
290	289,86	0,10	$289,86^{\circ} \pm 0,1^{\circ}$
300	300,26	0,05	$300,26^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$

Lanjutan Tabel 4.2 Pengambilan data kalibrasi sudut yaw sensor CMPS12

Pembacaan $\angle yaw$ pada busur ( $^{\circ}$ )	Pembacaan rata-rata $\angle yaw$ pada sensor ( $^{\circ}$ )	Standard Deviasi	Hasil pengukuran sesungguhnya
310	309,54	0,08	$309,54^{\circ} \pm 0,08^{\circ}$
320	319,52	0,07	$319,52^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
330	330,52	0,10	$330,52^{\circ} \pm 0,1^{\circ}$
340	340,12	0,07	$340,12^{\circ} \pm 0,07^{\circ}$
350	350,02	0,04	$350,02^{\circ} \pm 0,04^{\circ}$
360	359,86	0,05	$359,86^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$

Pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di atas memiliki nilai ketidakpastian pengukuran  $U_{A1}$  yang relatif kecil sebesar  $0.02^{\circ}$  untuk *pitch* dan  $0,18^{\circ}$  untuk *yaw* sehingga untuk kedua sensor CMPS dapat di tarik kesimpulan masih layak di gunakan dalam sistem pengukuran penjejak matahari.

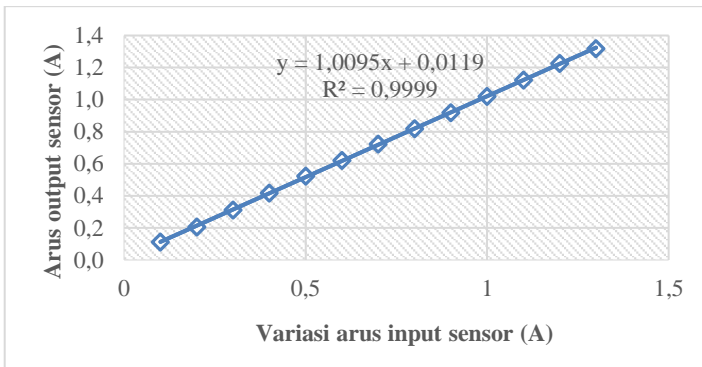
#### 4.2 Kalibrasi Sensor ACS712

Sensor arus digunakan untuk mensensing arus *input* atau *output* dari sebuah piranti elektronik yang nantinya akan digunakan untuk memonitoring arus dari *fix photovoltaic* dan dari sistem penjejak matahari. Kalibrasi sensor ACS712 di lakukan untuk mengetahui karakteristik sensor berupa hubungan antara arus referensi (*input* ke sensor) dengan output arus yang terbaca oleh sensor ACS712 dengan memberikan sinyal input berupa arus referensi dengan rentang nilai 0,1 sampai 1,3 ampere menggunakan sebuah pembangkit arus berupa regulator tegangan yang mampu mengatur besar output arus sesuai yang di inginkan. Hasil uji sensor ACS712 berupa hubungan arus *input* dan arus *output* dapat di liat sesuai dengan Gambar 4.1.

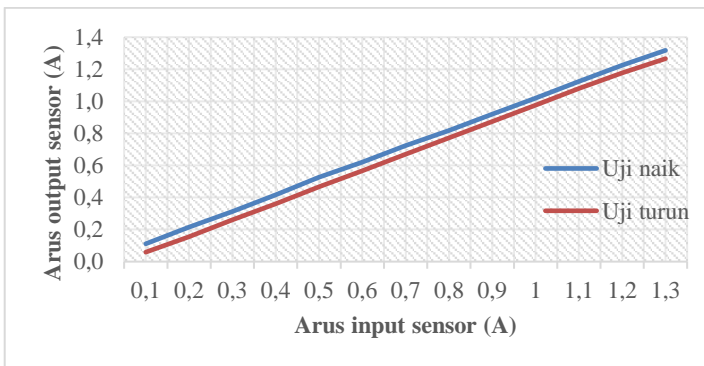
Pengukuran yang ideal adalah jika hubungan antara *input* pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan *output* pengukuran (nilai yang ditunjukkan alat ukur) adalah berbanding lurus. Tingkat linearitas hasil pengukuran sensor sesuai dengan persamaan 4.1.

$$O - O_{Min} = \left[ \frac{O_{Max} - O_{Min}}{I_{Max} - I_{Min}} \right] (I - I_{Min}) \quad (4.1)$$

Dari hasil perhitungan di dapatkan persamaan linear uji sensor ACS712 yaitu  $O = 1,0058I + 0,01142$ . Hasil tersebut mendekati dengan hasil persamaan linear dari plot *microsoft excel* sebesar  $y = 1,0095x + 0,0119$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9999 dimana semakin mendekati nilai 1 maka kecocokan model akan lebih baik.



**Gambar 4.1** Grafik regresi arus output sensor terhadap variasi arus input sensor



**Gambar 4.2** Pengambilan data uji sensor arus ACS712-20A

Pada Gambar 4.2 merupakan uji sensor ACS712 dengan kapasitas 20A dengan pengambilan data uji naik dan uji turun untuk mendapatkan besar nilai histerisis. Adapaun histerisis itu sendiri adalah perbedaan nilai output pembacaan saat uji naik dengan nilai output pembacaan arus saat uji turun.

Histerisis dinyatakan dalam bentuk histerisis maksimum dengan hasil berupa presentasi skala maksimum. Adapun persamaan yang di gunakan dalam menghitung histerisis adalah sesuai dengan persaman 4.2 berikut:

$$\% \text{ Histerisis} = \frac{\hat{H}}{O_{Max} - O_{Min}} \times 100\% \quad (4.2)$$

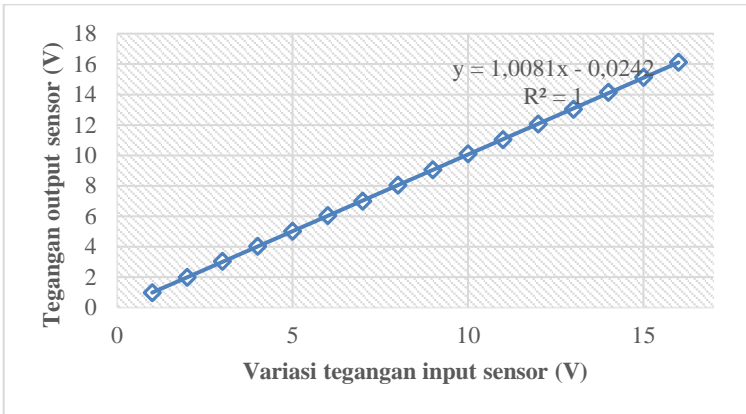
Dari persamaan di atas didapatkan nilai histerisis maksimum pada uji 0,2 A dengan rentang perbedaan uji naik dan uji turun sebesar 0,059 dengan nilai histerisis sebesar 4,89 % .

Kalibrasi pada sensor ACS712-20A bertujuan untuk mengetahui kebenaran konvensional sensor dari alat ukur dan alat uji dengan cara membandingkan dari nilai standar ukur yang telusur atau terverifikasi, adapaun hasil uji kalibrasi di tunjukan pada Tabel 4 lampiran C dimana kita dapat menentukan nilai pembacaan berulang, standar deviasi, dan ketidakpastian tipe  $A_1$ . Pada tabel tersebut di ketahui bahwa sensor ACS712-20A memiliki standar deviasi terbesar pada titik ukur 1,3A dengan pembacaan rata-rata 1,319A besar standar deviasi 0,00237 dan ketidakpastian pengukuran tipe  $A_1$  sebesar 0,00106. Sehingga hasil pengukuran sesungguhnya adalah  $1,319 \pm 0,00237A$  dengan batas bawah 1,31663A dan batas atas 1,32137A.

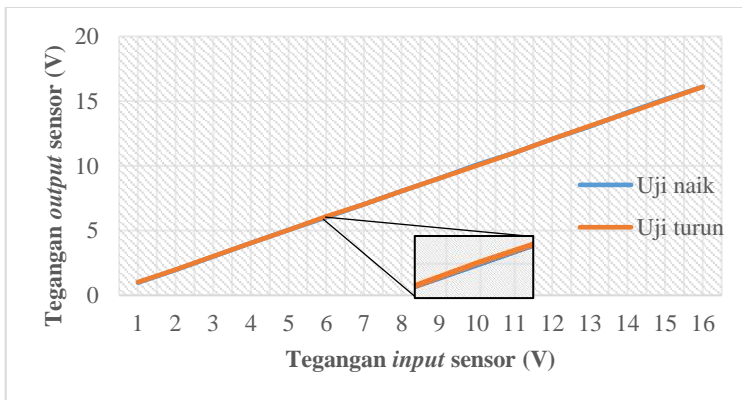
#### 4.3 Kalibrasi Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk mendapatkan output tegangan sebagai monitoring dari karakteristik *fix photovoltaic* dan sistem penjejak. Pada Tabel 6 lampiran D dapat diketahui nilai linearitas uji sensor dengan menggunakan persamaan 4.1, sehingga persamaan linearitas uji sensornya didapatkan sebesar  $O = 1,0087I - 0,0287$

dimana nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan nilai linearitas persamaan uji sensor pada plot *software microsoft excel* yaitu sebesar  $y = 1,0081x - 0,0242$  dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1 yang berarti tingkat kecocokan model sangat cocok. Grafik regresi tegangan output sensor terhadap tegangan input dalam di lihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik regresi tegangan output sensor terhadap variasi tegangan input sensor



**Gambar 4.4** Pengambilan data uji sensor tegangan-25v

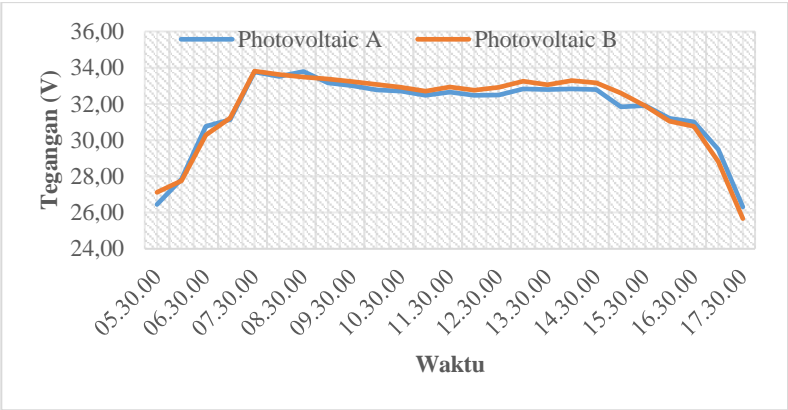
Adapun histeris maksimum dari data uji sensor tegangan 25V dapat dicari dengan persamaan 4.2. Dari Tabel 5 lampiran D didapatkan histerisis maksimum pada titik 6VDC dengan rentang perbedaan uji naik dan uji turun sensor sebesar 0,08VDC dimana nilai histerisis maksimumnya sebesar 0,5% adapun grafik histerisisnya dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Hasil kalibrasi dari sensor tegangan-25V memiliki standar deviasi terbesar pada titik ukur tegangan referensi 10V dengan pembacaan rata-rata 10,11VDC besar standar deviasi 0,0427 dan ketidakpastian pengukuran tipe A<sub>1</sub> sebesar 0,0191. Sehingga hasil pengukuran sesungguhnya adalah  $10,11 \pm 0,0427$  VDC dengan batas bawah 10,0673VDC dan batas atas 10,1527 VDC.

#### 4.4 Hasil Uji performansi Panel Surya

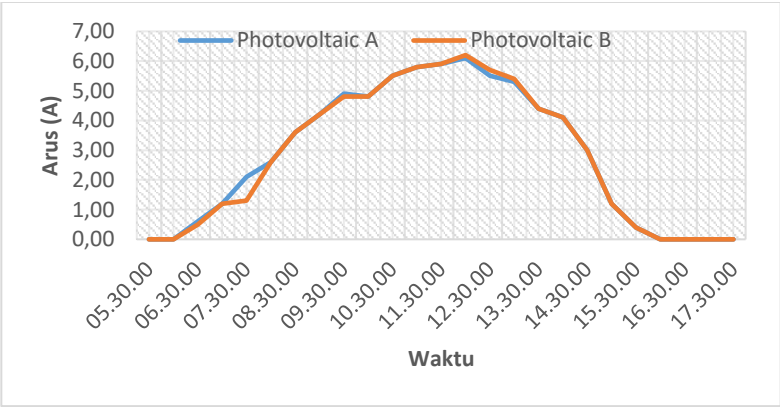
Uji performansi panel surya dilakukan dengan memberikan kondisi yang sama pada dua panel surya yaitu *photovoltaic A* dan *photovoltaic B* untuk mengetahui respon peningkatan daya dari panel. *Photovoltaic A* akan digunakan sebagai *photovoltaic tracker* sedangkan untuk *photovoltaic B* akan digunakan sebagai *fix photovoltaic*. Variabel perbandingan yang digunakan pada uji performansi adalah variabel tegangan dan arus dengan rentang waktu antara pukul 05.30 sampai 17.30 WIB di area kampus Departemen Teknik Fisika ITS. Gambar 4.5 adalah profil hasil uji tegangan output *photovoltaic* dengan periode sampling data tiap 30 menit.

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kedua panel *photovoltaic A* dan *photovoltaic B* memiliki *output* tegangan yang hampir sama dengan tegangan maksimum diperoleh pada pukul 07.30 sebesar 33,76 VDC pada *photovoltaic A* dan 33,81 VDC pada *photovoltaic B*. Tegangan akan cenderung stabil setelah pukul 09.00 dengan rentang kurang lebih 32 sampai 33 VDC dan mengalami penurunan setelah pukul 15.30. Pada grafik terlihat pada pukul 12.30 sampai 15.30 tegangan keluaran sedikit mengalami perbedaan, hal ini disebabkan adanya awan yang menutup sebagian panel di jam tersebut. Penyimpangan rata-rata performansi uji tegangan sebesar 0,11 VDC.



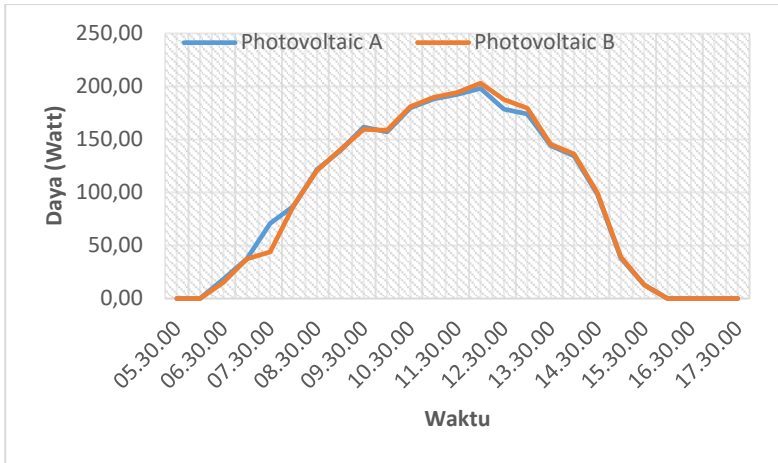
**Gambar 4.5** Grafik respon uji tegangan performansi panel surya

Gambar 4.6 merupakan karakteristik dari uji performansi arus *photovoltaic A* dengan *photovoltaic B*. Dari grafik diketahui bahwa kedua *photovoltaic* memiliki respon output arus yang hampir sama, hanya saja pada pukul 07.30 *photovoltaic A* dan *photovoltaic B* mengalami penyimpangan yang cukup lebar sebesar 0,8A. Penyimpangan rata-rata dari kedua *photovoltaic* cukup kecil sebesar 0,02A.



**Gambar 4.6** Grafik respon uji arus performansi panel surya





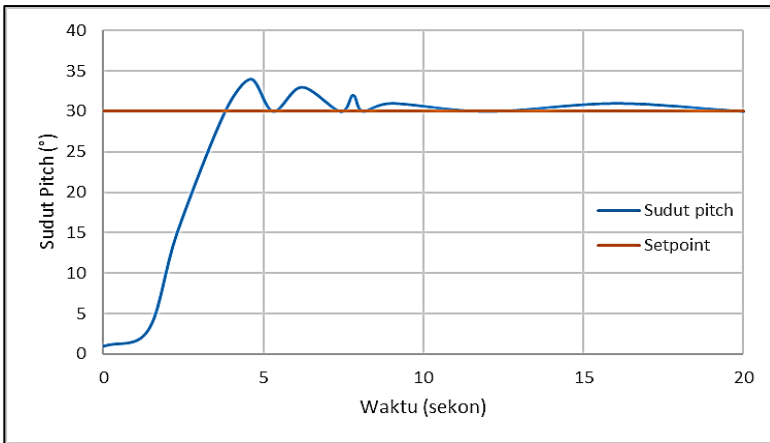
**Gambar 4.7** Grafik respon uji daya performansi panel surya

Gambar 4.7 merupakan karakteristik dari uji performansi daya dari *photovoltaic A* dan *photovoltaic B*. Dari grafik tersebut diketahui bahwa daya maksimum diperoleh ketika pukul 12.00 dengan *photovoltaic A* sebesar 198,13 watt dan *photovoltaic B* sebesar 203,11 watt, pengambilan data dilakukan pada pukul 05.30 sampai 17.30 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah tanpa awan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan antara *photovoltaic A* dan *photovoltaic B*, hal ini dapat terjadi karena kedua panel surya tidak mungkin sama identik meskipun berasal dari satu merek yang sama. Faktor lain seperti alat ukur yang digunakan dan cuaca yang berubah-ubah juga dapat mempengaruhi. Meskipun daya maksimum *photovoltaic B* lebih besar dari *photovoltaic A*, perbedaan simpangan rata-rata kedua *photovoltaic* cukup kecil yaitu sebesar 0,08 watt sehingga perbedaan tersebut dapat diabaikan.

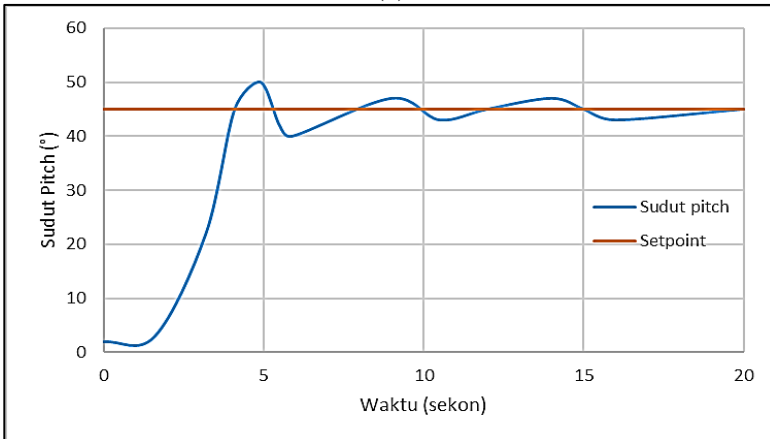
#### 4.5 Pengujian Sistem Penjejak Matahari Pasif

Uji sistem penjejak matahari pasif bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon kontrol Fuzzy berbasis *Modified Particle Swarm Optimization* (FMPSO) terhadap input yang di

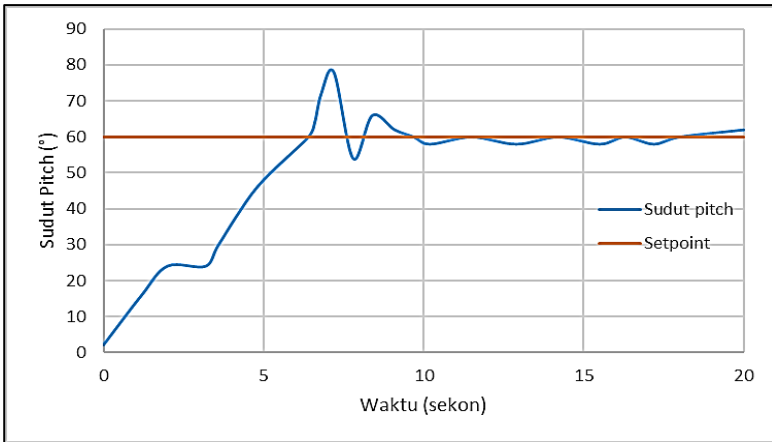
berikan terhadap sistem berupa perubahan dari sudut *azimuth* dan *altitude*. Terdapat tiga uji *setpoint* tiap masing-masing sumbu dimana untuk sumbu *azimuth* dan *altitude* memiliki variasi sudut yang berbeda yaitu sudut *pitch* dengan variasi  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$  sedangkan untuk sudut *yaw* dengan variasi *setpoint*  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $120^\circ$ . Respon hasil uji sumbu *altitude* dan *azimuth* ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.



(a)



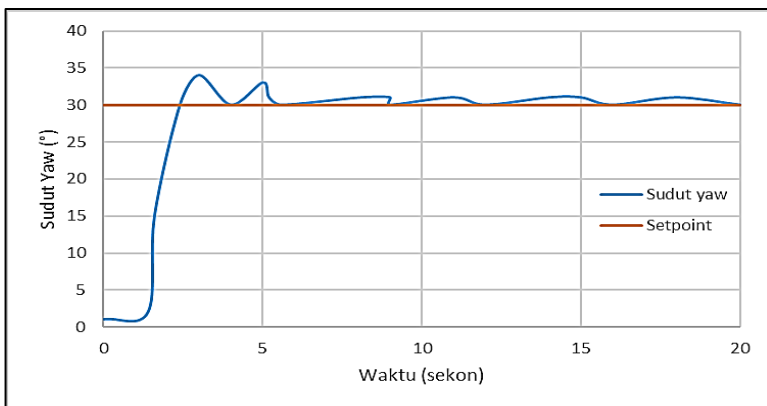
(b)



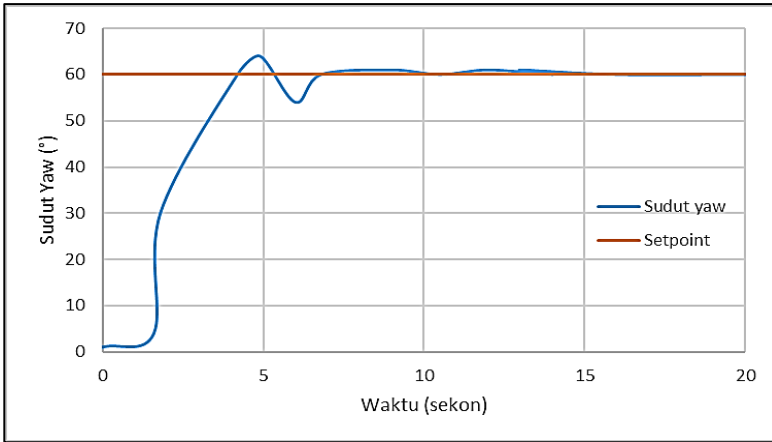
(c)

**Gambar 4.8** Respon uji sistem kontrol sudut altitude (a)  $\alpha_s=30^\circ$   
(b)  $\alpha_s=45^\circ$  (c)  $\alpha_s=60^\circ$

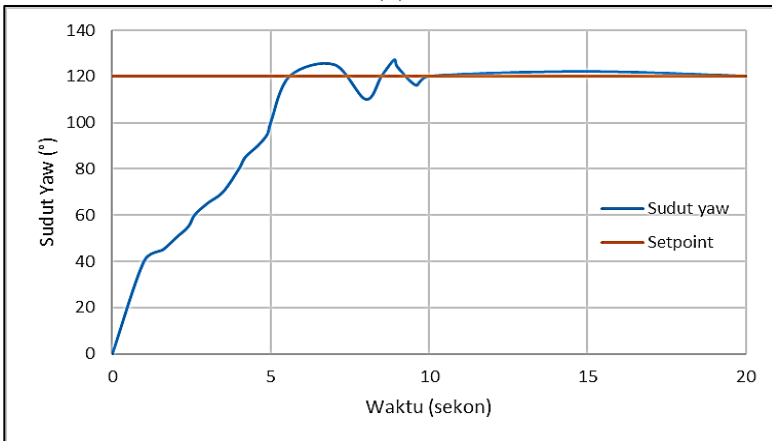
Sudut *altitude* memiliki maksimum pembacaan sebesar  $90^\circ$  sehingga pengujian sistem kontrol dilakukan pada rentang  $90^\circ$  di titik sudut  $30^\circ, 45^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Sedangkan pada sudut *azimuth* rentang maksimum sebesar  $360^\circ$ , sehingga pengujian dilakukan pada titik  $30^\circ, 60^\circ$ , dan  $120^\circ$ .



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.9** Respon uji sistem kontrol sudut azimuth (a)  $\gamma_s=30^\circ$   
(b)  $\gamma_s=60^\circ$  (c)  $\gamma_s=120^\circ$

Dari Gambar 4.8 didapatkan informasi dari respon kontrol uji sistem penjejak matahari pasif sudut *altitude* dengan variasi sudut  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$  pada sistem *fuzzy modified particle swarm optimization* dengan tipe LDWPSO sebagaimana di jabarkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Performansi respon sistem kontrol sumbu altitude

Respon Sistem	Uji <i>Setpoint</i>		
	Sudut <i>Pitch</i>		
	30°	45°	60°
<i>Rise time</i> ( $t_r$ )	3,8 s	4,1 s	6,4 s
<i>Delay time</i> ( $t_d$ )	2,3 s	3,2 s	3,6 s
<i>Peak time</i> ( $t_p$ )	4,6 s	4,9 s	7,2 s
<i>Settling time</i> ( $t_s$ )	8,1 s	8,7 s	9,7 s
<i>Maximum overshoot</i> ( $M_p$ )	13,30%	11,11%	18,33%
<i>Error steady state</i> ( $E_{ss}$ )	3,33%	4,44%	3,33%

Dari Tabel 4.3 dapat dianalisa bahwa pada tiap-tiap sumbu memiliki *rise time*, *delay time*, *peak time*, dan *settling time* tidak sama yang nilainya semakin besar sesuai dengan kenaikan sudut yang terjadi. Kecepatan untuk menuju setpoint sangat di pengaruhi oleh kecepatan dari motor dc, semakin cepat motor dc bergerak akan semakin cepat pula menuju setpoint akan tetapi semakin cepat motor bergerak akan semakin besar pula osilasi yang dihasilkan. Untuk set tegangan pada motor dc dipilih pada tegangan 18 VDC untuk motor *pitch* dengan pertimbangan pada tegangan 18VDC motor dc *pitch* bergerak secara pelan dan stabil dengan osilasi yang kecil.

**Tabel 4.4** Performansi respon sistem kontrol sumbu azimuth

Respon Sistem	Uji <i>Setpoint</i>		
	Sudut <i>Yaw</i>		
	30°	60°	120°
<i>Rise time</i> ( $t_r$ )	2,4 s	4,2 s	5,6 s
<i>Delay time</i> ( $t_d$ )	1,6 s	1,8 s	2,6 s
<i>Peak time</i> ( $t_p$ )	3,5 s	4,9 s	8,9 s
<i>Settling time</i> ( $t_s$ )	5,6 s	6,8 s	10 s

Lanjutan Tabel 4.4 Performansi respon sistem kontrol sumbu azimuth

Respon Sistem	Uji <i>Setpoint</i>		
	Sudut <i>Yaw</i>		
	30°	60°	120°
<i>Maximum overshoot</i> ( $M_p$ )	10%	6,67%	5,83%
<i>Error steady state</i> ( $E_{ss}$ )	3,33%	1,67%	1,67%

Dari Gambar 4.9 didapatkan informasi dari sistem kontrol *fuzzy modified particle swarm optimization* dengan mode sistem penjejak matahari pasif sebagaimana pada Tabel 4.4. Pada uji *setpoint* untuk sudut *yaw* memiliki *rise time*, *delay time*, *peak time*, dan *settling time* dengan kenaikan konstan setiap bertambahnya sudut uji seperti tampak pada Gambar 4.9. Supply pada motor dc menggunakan tegangan 12VDC dengan pertimbangan pada tegangan 12VDC motor dc *yaw* bergerak secara pelan dan stabil dengan osilasi tidak terlalu besar.

#### 4.6 Uji *Tracking Setpoint*

Uji *tracking setpoint* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pergerakan *azimuth* dan *altitude photovoltaic* sistem kontrol FMPSO dengan perbandingan dari pergerakan matahari pada *solar position calculator* yang terdapat pada web aplikasi *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Pengujian dilakukan pada tanggal 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah sedikit berawan.

Pengambilan data dilakukan pada posisi lintang 7°16'53.9"LS dan posisi bujur 112°47'44.2" BT pada rentang waktu 05.30 sampai 17.30 WIB dengan *sampling* waktu 30 menit. Pada respon sudut *pitch* dapat dilihat bahwa *sampling* awal untuk sistem *tracker* hanya mampu memberikan respon awal sebesar 0° berbeda pada *database* NOAA yang memberikan data *minus*. Untuk pergerakan dari sumbu *pitch* dan *yaw* mempunyai


pergerakan yang stabil dengan *error* pembacaan kecil pada setiap sampling.

**NOAA Solar Calculator**

Find Sunrise, Sunset, Solar Noon and Solar Position for Any Place on Earth

Show: ☐ World Cities ☒ U.S. Cities ☐ GMD Observ's ☐ GMD Data Sites ☐ SurfRad

Click one of the small pins near (and in the same time zone as) your desired location. Use the control on the left side of the map to zoom in or out. Place the large pin in the exact desired location. You can use the Save button to have your computer remember the current location for next time. Check the DST check box if Daylight Saving Time is in effect for your site.



Location:

Latitude:  Longitude:  Time Zone:  ☐ DST?

Date:

Day:  Month:  Year:

Local Time:

:  :  ☐ AM ☒ PM

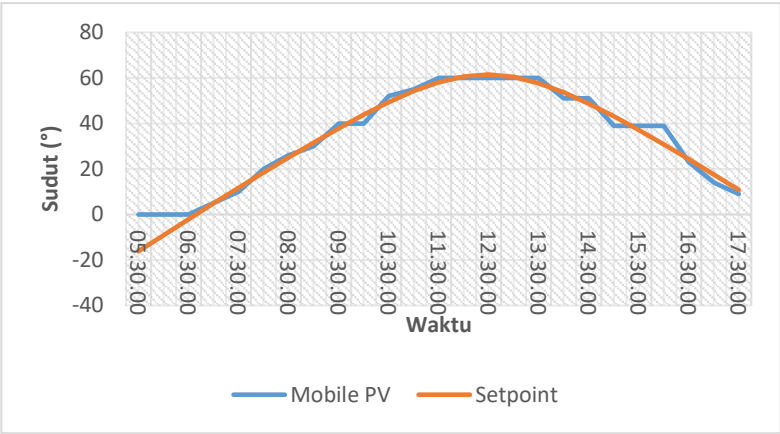
Result

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in°):	Apparent Sunrise (hh:mm):	Solar Noon (hh:mm:ss):	Apparent Sunset (hh:mm):	Az/EI (in °) at Local Time:
-6.3	20.85	05:43	11:35:07	17:28	2.53 61.84
		<input checked="" type="checkbox"/> Show Sunrise		<input checked="" type="checkbox"/> Show Sunset	<input checked="" type="checkbox"/> Show Azimuth

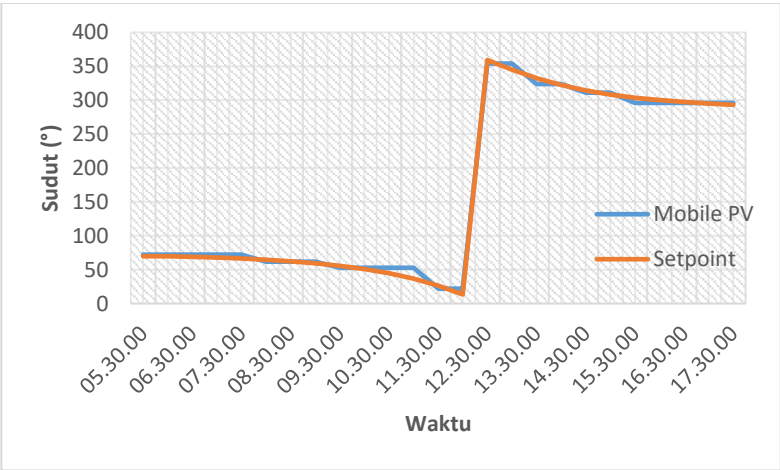
**Gambar 4.10** Pengambilan data altitude dan azimuth pada NOAA

Gambar 4.10 merupakan contoh pengambilan data *altitude* dan *azimuth* menggunakan web NOAA dimana pada web diperlukan *input* data lokasi pada kolom yang sudah di sediakan untuk mendapatkan *altitude* dan *azimuth* dari matahari. *Setting* waktu berupa hari, bulan, tahun dan waktu lokal diperlukan untuk mengetahui setiap pergerakan yang terjadi dari pukul 05.30 hingga 17.30. Terdapat opsi tampilan pada peta untuk menampilkan arah

garis *sunrise* (hijau), *sunset* (merah) dan arah *azimuth* (kuning). Solar noon atau posisi tertinggi dari matahari pada lokasi tertentu dapat diketahui dengan mudah pada web.



**Gambar 4.11** Respon sudut pitch pada uji tracking setpoint



**Gambar 4.12** Respon output yaw pada uji tracking setpoint

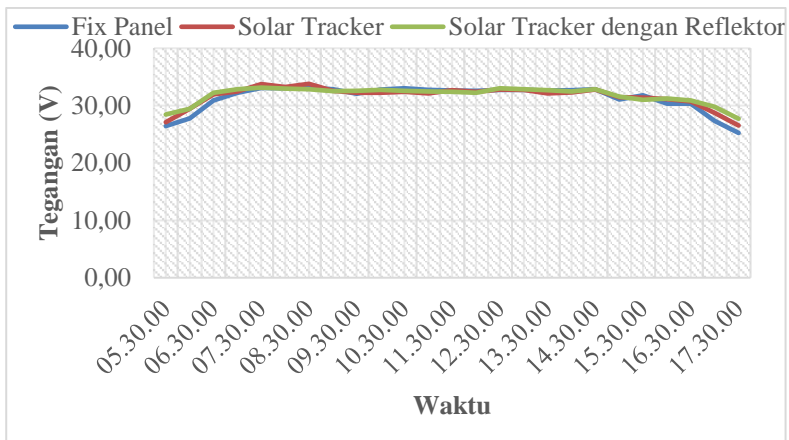
Pengambilan data respon uji dilakukan dengan sampling



data setiap 30 menit, hal ini berdasarkan perputaran bumi yang membutuhkan waktu minimal 4 menit untuk bergerak sebesar  $1^\circ$ . Sehingga jika dalam waktu 30 menit minimal bumi akan bergerak sebesar  $7,5^\circ$  dimana perbedaan yang akan terjadi pada pembacaan sudut cukup untuk menggerakkan sistem kontrol. Selain itu pemakaian daya dari aktuator akan sedikit berkurang dikarenakan motor DC tidak akan bergerak terus sepanjang waktu untuk menjejak dari posisi matahari dengan perubahan yang kecil.

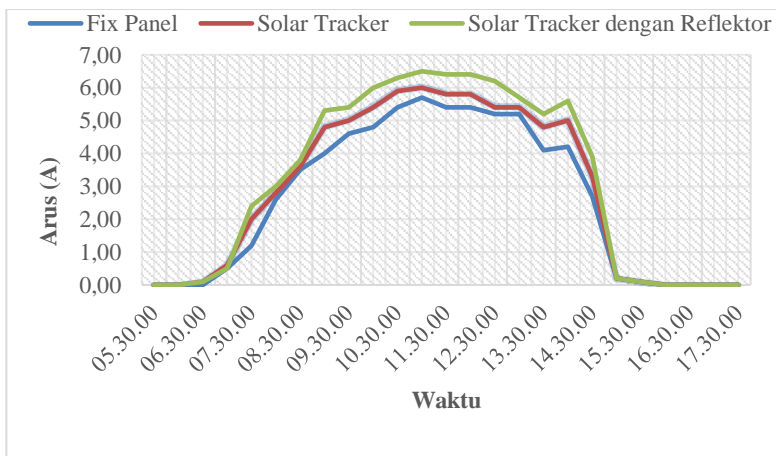
#### 4.7 Uji Penjejak Matahari Pasif pada *Fix Based* dengan Reflektor ( $70^\circ$ )

Pengujian sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dilakukan untuk mengetahui performansi dari *photovoltaic*, terdapat 3 parameter yang akan di uji yaitu *fix panel*, sistem penjejak matahari pasif, dan sistem penjejak matahari pasif dengan reflektor ( $70^\circ$ ). Pada pengujian ini dilakukan di area parkir mobil Departemen Teknik Fisika ITS dengan rentang waktu 05.30 sampai 17.30 dengan kondisi cuaca cerah sepanjang hari sedikit berawan.



**Gambar 4.13** Grafik uji tegangan sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ )

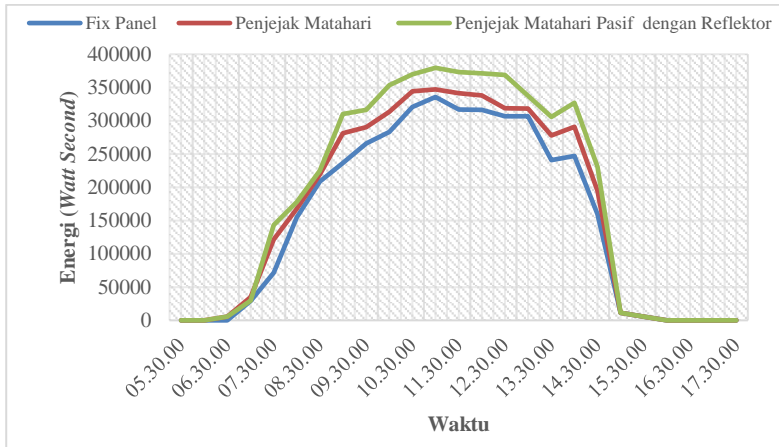
Gambar 4.13 merupakan profil dari output tegangan *photovoltaic* dimana pada grafik terlihat bahwa perbedaan antara ketiga parameter uji tidak terlalu besar. Simpangan rata-ratanya adalah 0,25 VDC perbandingan antara *fix panel* dan sistem penjejak matahari, sedangkan pada perbandingan *fix panel* dan sistem penjejak matahari dengan reflektor memiliki simpangan rata-rata sebesar 0,42 VDC. Dari data tersebut dapat ditarik pernyataan bahwa tegangan rata-rata dari sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ ) memiliki performansi yang lebih baik daripada *fix panel* maupun sistem penjejak matahari pasif.



**Gambar 4.14** Grafik uji arus sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ )

Pada Gambar 4.14 merupakan grafik output arus dari uji ketiga parameter *photovoltaic*, yaitu *fix panel*, sistem penjejak matahari pasif, dan sistem penjejak matahari pasif dengan reflektor ( $70^\circ$ ). Simpangan rata-rata dengan *fix panel* sebagai referensi pembandingan memiliki nilai sebesar 0,29A pada sistem penjejak matahari pasif dan 0,57A pada sistem penjejak matahari pasif dengan reflektor ( $70^\circ$ ). Sama seperti karakteristik tegangan pada

Gambar 4.13, pada uji arus performansi sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ ) memiliki performansi yang lebih baik daripada *fix panel* maupun sistem penjejak matahari pasif.



**Gambar 4.15** Grafik performansi energi sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ )

Gambar 4.15 menggambarkan performansi energi yang dihasilkan dari ketiga parameter *photovoltaic* uji, yaitu *fix panel*, sistem penjejak matahari pasif, dan sistem penjejak matahari pasif dengan reflektor ( $70^\circ$ ). Energi yang dihasilkan dalam satuan *watt-second* yaitu perkalian antara variabel tegangan dan arus tiap satuan waktu. Pada sistem penjejak matahari pasif memiliki simpangan rata-rata dengan *fix panel* sebagai referensi pembanding sebesar 16216,70 *watt second* dengan peningkatan energi sebesar 10,62% dari *fix panel*. Sedangkan pada sistem penjejak matahari pasif dengan reflektor ( $70^\circ$ ) memiliki simpangan rata-rata dengan *fix panel* sebagai referensi pembanding sebesar 32995,94 *watt second* dengan peningkatan energi sebesar 21,61% dari *fix panel*. Sehingga dapat ditarik pernyataan bahwa sistem penjejak matahari pasif pada *fix based* dengan reflektor ( $70^\circ$ ) memiliki performansi yang lebih baik dari *fix panel* dan sistem penjejak matahari pasif

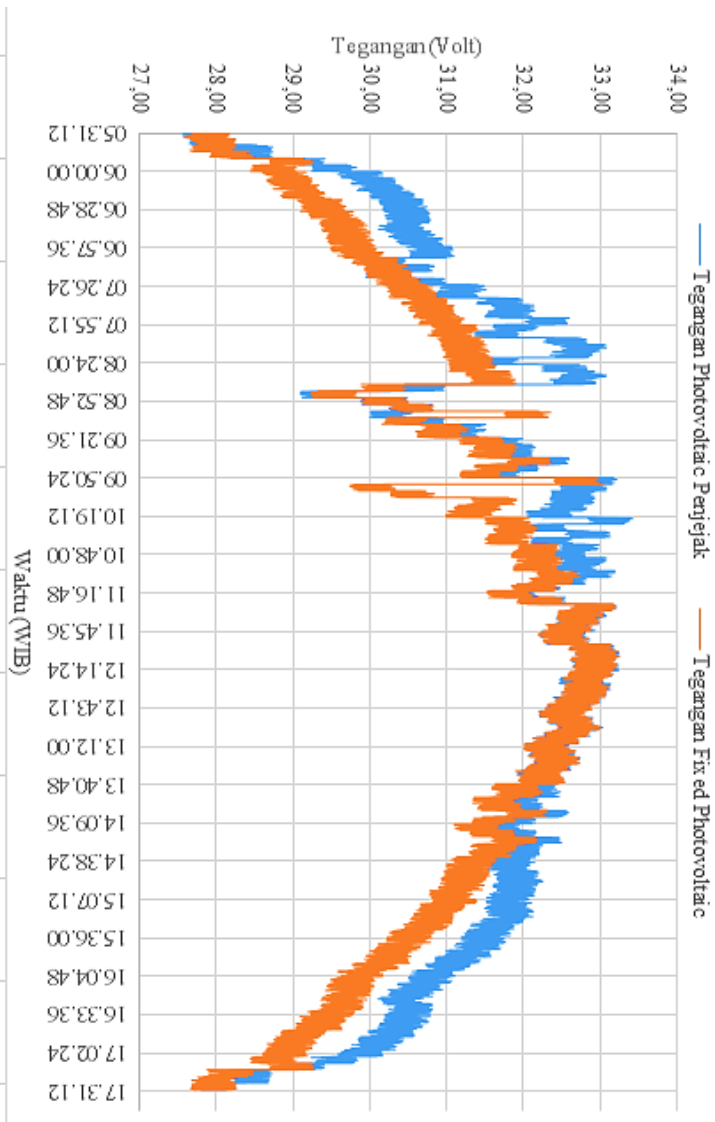
tanpa reflektor dengan peningkatan energi sebesar 21,61%.

#### **4.8 Uji Penjejak Matahari Pasif pada *Mobile Based* dengan Reflektor (70°)**

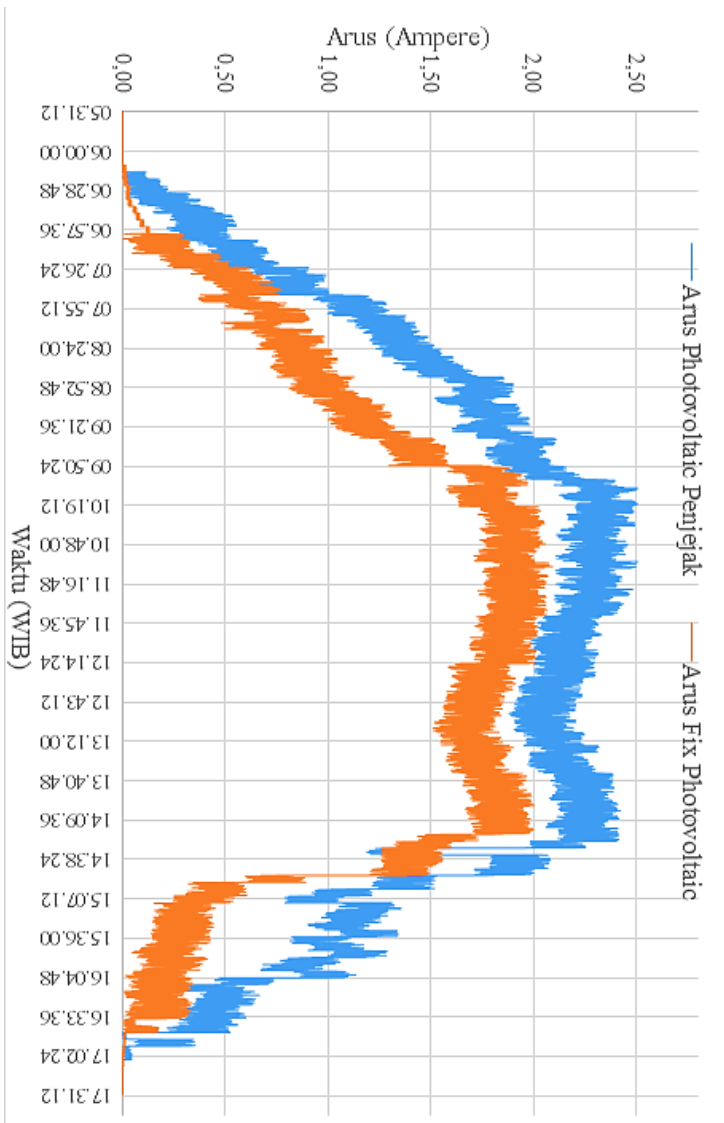
Uji penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan fix reflektor (70°) bertujuan untuk mengetahui performansi *photovoltaic* antara *fix panel* dengan penjejak matahari yang telah didesain menggunakan sepasang reflektor dengan sudut 70° sebagai pemantul dari cahaya matahari untuk mendapatkan performansi maksimal dari *output photovoltaic*. Variabel yang diukur adalah tegangan *output* dan arus *output photovoltaic*. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan *output* arus dan tegangan pada *fix panel* dan penjejak matahari pasif pada *mobile based* baik itu tanpa cermin pemantul (reflektor) maupun dengan menambahkan cermin pemantul (reflektor) dengan sudut 70° untuk meningkatkan performansi *photovoltaic*. Pengambilan data dilakukan di area Kampus ITS Sukolilo Surabaya dengan posisi lintang 7°16'53.9"LS dan posisi bujur 112°47'44.2" BT. Data respon diambil dengan sebuah sistem terintegrasi menggunakan sistem *data logger*, sehingga nilai dari pembacaan arus dan tegangan dapat di rekam ke dalam file *excel* dengan periode sampling setiap 5 sekon untuk pengujian *fix panel* dan pengujian penjejak matahari pasif pada *mobile based*.

Pengujian *mobile based* dilakukan pada titik awal di area depan departemen Teknik Fisika ITS. Data yang diambil berupa *output* tegangan dan arus dari *photovoltaic*. Adapun karakteristik tegangan dan arus yang terbentuk adalah sesuai dengan Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.

Dari Gambar 4.16 terlihat bahwa tegangan yang terbentuk antara *fix panel* dan penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan reflektor (70°) sangat fluktuatif, hal ini disebabkan karena adanya belokan atau jalan yang tidak rata pada jalur pengambilan data *mobile based* yang menyebabkan *output* tegangan terbilang acak. Simpangan rata-rata sebesar 0,53VDC dimana tegangan *fix panel* lebih besar ketimbang tegangan penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan reflektor (70°).



**Gambar 4.16** Grafik uji tegangan penjejak matahari pasif pada mobile based dengan reflektor ( $70^\circ$ )

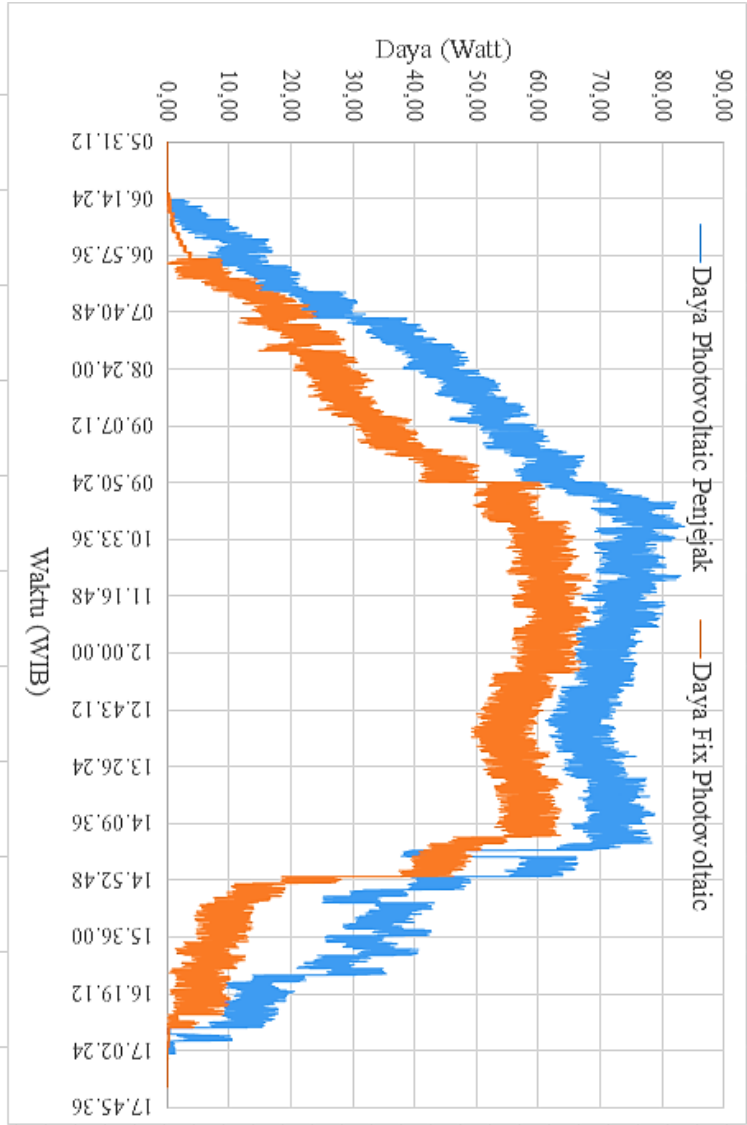


**Gambar 4.17** Grafik uji arus penjejak matahari pasif pada mobile based dengan reflektor ( $70^\circ$ )

Gambar 4.17 merupakan profil *output* arus pada *fix panel* dan penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan reflektor ( $70^\circ$ ). Pada grafik terlihat jelas bahwa *output* arus penjejak matahari pasif pada *mobile based* memiliki *output* arus yang lebih besar daripada *output* arus *fix panel*. Besarnya *output* arus yang keluar dari *fix panel* dan penjejak matahari terdapat perbedaan yang signifikan sehingga presentasi peningkatan performansi dari sistem dapat terbaca dengan mudah. Arus pada pembacaan awal tidak terlihat terjadinya perbedaan yang begitu besar hal itu dapat di amati pada grafik sekitar pukul 05.30 sampai 07.52 WIB. Setelah melewati pukul 08.00 tampak terlihat perbedaan simpangan arus yang cukup signifikan sampai pukul 14.50 perbedaan arus kembali tidak terlalu besar. Simpangan yang terjadi akibat panel pada sistem penjejak akan selalu di hadapkan tegak lurus dengan matahari sehingga pancaran sinar matahari akan cukup efektif tepat jatuh pada *photovoltaic* dan dengan adanya reflektor memberikan tambahan pantulan dari sinar matahari sehingga *output* arus semakin besar. Simpangan rata-rata yang terjadi antara *output* tersebut adalah sebesar 0,39A lebih besar daripada *fix panel*.

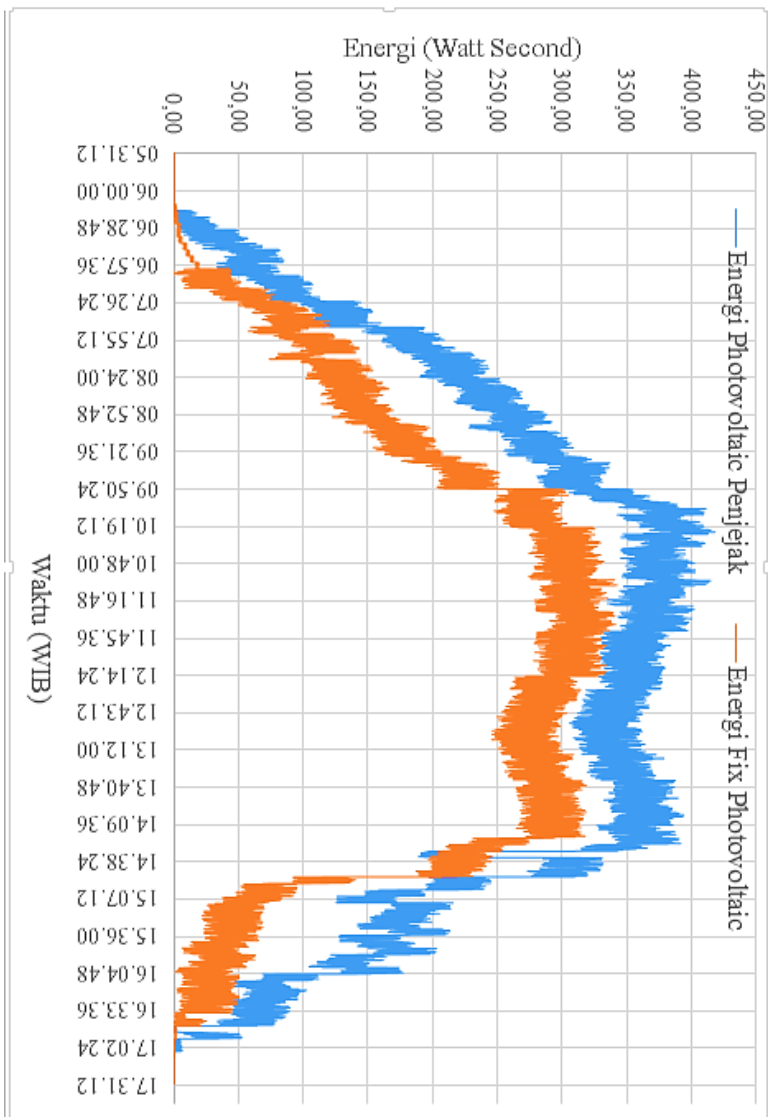
Gambar 4.18 merupakan hasil performansi sistem dari besar daya yang di dihasilkan untuk penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan menggunakan cermin pemantul reflektor ( $70^\circ$ ). Analisa performansi daya pada plot grafik tersebut terlihat bahwa adanya jarak yang cukup lebar antara *fix panel* dengan penjejak matahari pasif pada *mobile based*. Kecenderungan jarak tersebut mengakibatkan terbentuknya simpangan rata-rata yang cukup lebar yaitu sebesar 12,88 watt dengan peningkatan energi sistem sebesar 41,06% dari *fix panel*.

Energi yang dihasilkan dari *photovoltaic* merupakan fungsi perkalian antara *output* arus dan *output* tegangan (daya *photovoltaic*) dengan waktu. Gambar 4.19 merupakan performansi energi dari sistem penjejak matahari pasif menggunakan reflektor  $70^\circ$ . Karakteristik yang terbentuk antara *output* daya dan energi memiliki grafik yang sama sehingga peningkatan yang terbentuk juga memiliki kesamaan.



**Gambar 4.18** Grafik performansi daya penjejak matahari pasif pada mobile based dengan reflektor ( $70^{\circ}$ )





**Gambar 4.19** Grafik performansi energi penjejak matahari pasif pada mobile based dengan reflektor ( $70^\circ$ )

Peningkatan energi yang dihasilkan oleh sistem penjejak matahari pasif pada *mobile based* dengan fix reflektor dibandingkan dengan *fix photovoltaic* sebesar 64,60 watt detik. Dengan peningkatan energi yang dihasilkan sebesar 41,06%. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian yang mirip yaitu “Rancang Bangun *Combined Active-Passive Solar Tracker* pada *Mobile Based Photovoltaic* Menggunakan Metode Kendali *Fuzzy-PI*” yang dilakukan oleh Much. Faisal pada tahun 2018 peningkatan energi yang dihasilkan sebesar 27,18% sehingga terjadi peningkatan energi dari penelitian sebelumnya sebesar 13,88 %.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat di ambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Parameter perancangan sistem penjejak pasif yang digunakan adalah pergerakan sudut dari *mobile photovoltaic* dimana didapatkan kemiringan sudut dengan error pembacaan maksimum pada pergerakan sudut  $40^\circ$  sebesar  $\pm 0,04$  untuk *pitch* dan pada pembacaan  $240^\circ$  sebesar  $\pm 0,41$  untuk *yaw*.
- b. Kendali FMPSO menunjukkan performansi yang baik dengan ditunjukkannya hasil uji setpoint pada sumbu *altitude* yang memiliki *error steady state* maksimum sebesar 4,44% pada sudut  $45^\circ$  dengan *rise time* 4,1s; *delay time* 3,2s; *peak time* 4,9s; *settling time* 8,7s; dan *maximum overshoot* 11,11%. Sedangkan pada sumbu azimuth memiliki *error steady state* maksimum sebesar 3,33% pada sudut  $30^\circ$  dengan *rise time* 2,4s; *delay time* 1,6s; *peak time* 3,5s; *settling time* 5,6s; dan *maximum overshoot* 10%.
- c. Perancangan penjejak matahari pasif pada *mobile based* mengalami peningkatan energi cukup tinggi dibandingkan dengan *fix photovoltaic*. Peningkatan energi sistem mencapai 41,06%.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk pengembangan selanjutnya adalah:

- a. Wiring kabel untuk setiap pemasangan komponen elektrik disesuaikan dengan kegunaannya. Penggunaan kabel dengan tipe serabut akan baik digunakan pada wiring motor dc, akan tetapi sangat beresiko jika digunakan untuk pemasangan sensor dari sistem karena rawan grounding. Akan lebih baik untuk setiap modul sensor menggunakan kabel tunggal dan tidak disarankan menggunakan kabel jumper karena rawan lepas ketika terkena guncangan saat pengambilan data yang

akan mengakibatkan pembacaan acak sehingga data tidak valid.

- b. Perlu adanya desain ulang mengenai mekanik sistem untuk mendapatkan perfoma yang lebih baik sehingga dengan penggunaan motor dc dengan torsi kecil mampu menggerakkan panel surya dengan mudah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Outlook Energi Indonesia 2016," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [2] M. Amar, "Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis Kontrol Adaptive Neuro Fuzzy Inference Sistem (ANFIS)," Jakarta, 2012.
- [3] N. .. Parmar, "Passive Solar Tracking System," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. V, no. 1, pp. 138-145, 2015.
- [4] I. Abadi, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*, vol. VIII, no. 6, pp. 640-652, 2015.
- [5] B. Setiawan, M. H. Purnomo, M. Ashari and T. Hiyama, "Advanced Control of On-Ship Solar Tracker Using Adaptive Wide Range ANFIS," *ICIC International*, vol. IX, no. 2595, pp. 2585-2596, 2013.
- [6] R. A. Nugroho, M. Facta and Yuningtyastuti, "Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector)," *Transient*, vol. III, no. 412, pp. 2302-9927, 2014.
- [7] N. Effendy, A. S. Ashfahani, A. Yulinggar and I. N. K. Wardana, "Aplikasi Kontrol Logika Fuzzy Pada Sistem Tracking Matahari," *SNATI*, pp. 1907-5022, 2008.
- [8] K. Flex, "How to find the 3D coordinates on a celestial sphere's surface," Stack Overflow , 2008. [Online]. Available: <https://math.stackexchange.com>. [Accessed 09 Juli 2018].
- [9] Novak, "What is the Fuzzy Logic," *Nakladatelství Oeconomica*, vol. V, no. 7, pp. 83-90, 2005.
- [10] A. F. Babgei, "Rancang Bangun Maximum Power Point

Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy," 2011.

- [11] K. A. Permatasari, "Perancangan Sistem Pengendalian Sudut Pitch dan Yaw Pada Panel Surya Menggunakan Metode PSO-Fuzzy," Surabaya, 2015.
- [12] E. P. Kurniawan, "Fuzzy Membership Function Generation using particle Swarm Optimization," *International Journal Open Problems Computation Math*, vol. III, 2010.
- [13] H. M. Feng, "Particle Swarm Optimization Learning Fuzzy Systems Design," in *Proceedings of Third International Conference on Information Technology and Applications*, USA, 2005.
- [14] N. B. M. Nouaouria, "Particle Swarm Classification : A Survey and Positioning," *Pattern Recognition*, vol. XLVI, 2013.
- [15] Y. Fukuyama, Fundamentals of Particle Swarm Optimization Techniques, USA: In Modern Heuristic Optimization Techniques: Theory and Applications to Power Systems, Eds : K.Y. Lee & M.A. El-Sharkawi, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, 2007.
- [16] R. A. Jamous, A. A. Tharwat, EssamEl.Seidy and B. I. Bayoum, "Modifications of Particle Swarm Optimization Techniques and Its Application on Stock Market: A Survey," (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. VI, no. 3, pp. 99-108, 2015.
- [17] M. Cheng-Hong Yang, IAENG, C.-J. Hsiao and L.-Y. Chuang, "Linearly Decreasing Weight Particle Swarm Optimization with Accelerated Strategy for Data Clustering," *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. III, no. 5, p. 37, 2010.
- [18] K. T. S. N. Alrijadjis Djoewahir, "Intelligent PID Controller using Modified PSO Algorithm for Ultrasonic Motor," *Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers*, vol. I, no. 1, pp. 22-28, 2013.

- [19] B. P. Setiawan and M. M.Ashari, "PID based modelling performance for two axe mobile solar tracker on a large ship".
- [20] I. Abadi, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.)*, vol. X, no. 3, pp. 390-398, 2015.
- [21] S. L. S. A. Naimah Mohd Hussin, H. Harun and N. E. Abd Khalid, "Comparative Study of Random-PSO and Linear PSO Algorithms," *Universiti Teknologi MARA*, 2010.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





## LAMPIRAN

## Lampiran A.

**Tabel 1.** Pengambilan Data Kalibrasi Sudut *Pitch* Sensor CMPS

[illegible]

## Lampiran B.

**Tabel 2.** Pengambilan Data Kalibrasi Sudut *Yaw* Sensor CMPS

$z_{ref}$ (°)	$X_i$ Pembacaan Sudut <i>Pitch</i> Sensor CMPS (°)					$\bar{X}_i$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9,90	10,00	10,10	10,10	10,10	10,04	0,08	0,04
20	20,00	20,00	20,00	19,90	20,00	19,98	0,04	0,02
30	27,60	28,00	28,00	28,00	28,00	27,92	0,16	0,07
40	38,20	38,20	38,30	38,30	38,30	38,26	0,05	0,02
50	50,10	50,10	50,20	50,20	50,30	50,18	0,07	0,03
60	57,00	57,00	57,00	57,00	56,90	56,98	0,04	0,02
70	70,10	70,20	70,10	70,10	70,10	70,12	0,04	0,02
80	80,40	80,40	80,30	80,60	80,50	80,44	0,10	0,05
90	89,90	89,80	89,90	90,00	90,00	89,92	0,07	0,03
100	100,40	100,30	100,30	100,00	100,10	100,22	0,15	0,07
110	110,10	110,20	110,10	110,10	110,10	110,12	0,04	0,02
120	120,50	120,50	120,40	120,40	120,30	120,42	0,07	0,03
130	130,30	130,10	130,10	130,10	130,40	130,20	0,13	0,06
140	140,10	140,40	140,40	140,20	140,00	140,22	0,16	0,07
150	149,90	149,80	149,80	149,90	149,60	149,80	0,11	0,05
160	159,90	159,90	159,70	159,70	159,80	159,80	0,09	0,04
170	169,40	169,60	169,40	169,20	169,20	169,36	0,15	0,07
180	180,10	180,00	180,00	180,00	180,20	180,06	0,08	0,04
190	190,40	190,00	190,20	190,10	190,30	190,20	0,14	0,06
200	200,40	200,50	200,50	200,20	200,30	200,38	0,12	0,05
210	209,80	209,90	209,90	210,00	209,80	209,88	0,07	0,03
220	219,70	219,70	219,80	219,60	219,70	219,70	0,06	0,03
230	229,80	229,80	229,70	229,90	230,00	229,84	0,10	0,05
240	239,80	239,80	238,70	239,60	239,60	239,50	0,41	0,18
250	249,90	250,00	250,00	249,90	250,00	249,96	0,05	0,02
260	260,10	260,10	260,20	260,20	260,10	260,14	0,05	0,02
270	270,10	270,00	269,90	269,90	270,00	269,98	0,07	0,03
280	279,80	279,90	279,90	279,90	280,00	279,90	0,06	0,03
290	289,90	289,90	289,80	289,70	290,00	289,86	0,10	0,05
300	300,20	300,20	300,30	300,30	300,30	300,26	0,05	0,02
310	309,70	309,50	309,50	309,50	309,50	309,54	0,08	0,04
320	319,60	319,50	319,50	319,60	319,40	319,52	0,07	0,03
330	330,40	330,40	330,60	330,60	330,60	330,52	0,10	0,04
340	340,10	340,20	340,20	340,10	340,00	340,12	0,07	0,03
350	350,10	350,00	350,00	350,00	350,00	350,02	0,04	0,02
360	359,90	359,80	359,90	359,80	359,90	359,86	0,05	0,02

Lampiran C.

Tabel 3. Pengambilan Data Uji Sensor Arus ACS712-20A

Arus Masukan Sensor (A)	Pembacaan Alat (A)								Rata-rata Pembacaan
	Naik			Turun			Rata-rata		
	1	2	3	1	2	3	Naik	Turun	
0,1	0,112	0,111	0,110	0,059	0,058	0,059	0,111	0,059	0,085
0,2	0,215	0,215	0,214	0,157	0,155	0,155	0,215	0,156	0,185
0,3	0,313	0,313	0,313	0,260	0,260	0,263	0,313	0,261	0,287
0,4	0,416	0,415	0,417	0,362	0,361	0,360	0,416	0,361	0,389
0,5	0,526	0,526	0,525	0,467	0,466	0,468	0,526	0,467	0,496
0,6	0,619	0,619	0,622	0,564	0,567	0,566	0,620	0,566	0,593
0,7	0,725	0,724	0,725	0,670	0,669	0,669	0,725	0,669	0,697
0,8	0,817	0,820	0,819	0,771	0,774	0,773	0,819	0,773	0,796
0,9	0,916	0,919	0,922	0,872	0,875	0,874	0,919	0,874	0,896
1	1,020	1,021	1,020	0,973	0,977	0,978	1,020	0,976	0,998
1,1	1,123	1,122	1,124	1,078	1,079	1,081	1,123	1,079	1,101
1,2	1,226	1,226	1,222	1,177	1,177	1,177	1,225	1,177	1,201
1,3	1,318	1,317	1,318	1,267	1,267	1,264	1,318	1,266	1,292

Tabel 4. Data Kalibrasi Sensor Arus ACS712-20A

$I_{ref} (A)$	$X_i$ Pembacaan Sensor Arus ACS712-20A (A)					$\bar{X}_i$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5			
0,1	0,111	0,113	0,113	0,112	0,111	0,112	0,00089	0,00040
0,2	0,205	0,207	0,208	0,208	0,206	0,207	0,00117	0,00052
0,3	0,313	0,313	0,313	0,310	0,311	0,312	0,00126	0,00057
0,4	0,417	0,417	0,417	0,417	0,419	0,417	0,00080	0,00036
0,5	0,525	0,524	0,523	0,521	0,521	0,523	0,00160	0,00072
0,6	0,622	0,621	0,623	0,622	0,620	0,622	0,00102	0,00046
0,7	0,724	0,725	0,724	0,726	0,722	0,724	0,00133	0,00059
0,8	0,819	0,820	0,818	0,819	0,821	0,819	0,00102	0,00046
0,9	0,916	0,920	0,919	0,917	0,919	0,918	0,00147	0,00066
1	1,022	1,020	1,019	1,019	1,020	1,020	0,00110	0,00049
1,1	1,121	1,121	1,122	1,121	1,123	1,122	0,00080	0,00036
1,2	1,227	1,227	1,226	1,226	1,225	1,226	0,00075	0,00033
1,3	1,316	1,320	1,323	1,318	1,318	1,319	0,00237	0,00106

Lampiran D.

Tabel 5. Pengambilan Data Uji Sensor Tegangan-25V

Tegangan Masukan Sensor (V)	Pembacaan Alat (V)								Rata-rata Pembacaan
	Naik			Turun			Rata-rata		
	1	2	3	1	2	3	Naik	Turun	
1	0,98	0,98	0,98	1,00	1,03	1,03	0,98	1,02	1,00
2	1,98	1,96	1,96	2,00	2,00	1,98	1,97	1,99	1,98
3	3,01	3,01	2,98	3,03	3,03	3,03	3,00	3,03	3,02
4	4,03	4,03	4,03	4,03	4,06	4,06	4,03	4,05	4,04
5	5,01	5,01	5,11	5,06	5,06	5,06	5,04	5,06	5,05
6	5,96	6,04	6,04	6,09	6,09	6,09	6,01	6,09	6,05
7	7,04	7,01	7,01	7,04	7,04	7,04	7,02	7,04	7,03
8	8,04	8,04	8,04	8,04	8,02	8,06	8,04	8,04	8,04
9	9,09	9,04	8,99	9,02	9,02	9,02	9,04	9,02	9,03
10	10,09	10,07	10,09	10,02	10,02	10,04	10,08	10,03	10,06
11	11,05	11,00	11,00	11,00	11,02	11,02	11,02	11,01	11,02
12	12,07	12,05	12,07	12,07	12,07	12,07	12,06	12,07	12,07
13	13,03	13,05	13,05	13,07	13,07	13,10	13,04	13,08	13,06
14	14,13	14,15	14,10	14,08	14,08	14,08	14,13	14,08	14,10
15	15,13	15,13	15,13	15,08	15,08	15,08	15,13	15,08	15,11
16	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10	16,10

Tabel 6. Data Kalibrasi Sensor Tegangan-25V

$V_{ref} (V)$	$X_i$ Pembacaan Sensor Tegangan-25V (V)					$\bar{X}_i$	$\sigma$	$U_{A1}$
	1	2	3	4	5			
1	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,0000	0,0000
2	1,98	1,98	2,00	1,98	1,98	1,98	0,0080	0,0036
3	3,01	3,08	3,01	3,01	3,01	3,02	0,0280	0,0125
4	4,03	4,03	4,01	4,01	4,03	4,02	0,0098	0,0044
5	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	5,01	0,0000	0,0000
6	6,04	6,04	6,04	6,06	6,01	6,04	0,0160	0,0072
7	6,99	6,99	6,99	6,99	7,01	6,99	0,0080	0,0036
8	8,02	8,02	8,04	8,04	8,11	8,05	0,0332	0,0149
9	9,04	9,04	9,04	9,07	9,07	9,05	0,0147	0,0066
10	10,07	10,09	10,09	10,19	10,09	10,11	0,0427	0,0191
11	11,00	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02	0,0080	0,0036
12	12,05	12,05	12,05	12,02	12,07	12,05	0,0160	0,0072
13	13,00	13,03	13,05	13,05	13,03	13,03	0,0183	0,0082
14	14,08	14,13	14,15	14,13	14,15	14,13	0,0256	0,0115
15	15,13	15,13	15,10	15,10	15,15	15,12	0,0194	0,0087
16	16,10	16,13	16,15	16,08	16,10	16,11	0,0248	0,0111

## Lampiran E.

**Tabel 7.** Data Uji Performansi Panel Surya

WAKTU	PV Tracker			PV Fixed		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
05.30.00	26,45	0,00	0,00	27,12	0,00	0,00
06.00.00	27,84	0,00	0,00	27,76	0,00	0,00
06.30.00	30,76	0,60	18,46	30,29	0,50	15,15
07.00.00	31,14	1,20	37,37	31,22	1,20	37,46
07.30.00	33,76	2,10	70,90	33,81	1,30	43,95
08.00.00	33,52	2,60	87,15	33,63	2,60	87,44
08.30.00	33,79	3,60	121,64	33,49	3,60	120,56
09.00.00	33,16	4,20	139,27	33,38	4,20	140,20
09.30.00	33,00	4,90	161,70	33,24	4,80	159,55
10.00.00	32,77	4,80	157,30	33,07	4,80	158,74
10.30.00	32,70	5,50	179,85	32,92	5,50	181,06
11.00.00	32,47	5,80	188,33	32,70	5,80	189,66
11.30.00	32,65	5,90	192,64	32,94	5,90	194,35
12.00.00	32,48	6,10	198,13	32,76	6,20	203,11
12.30.00	32,49	5,50	178,70	32,92	5,70	187,64
13.00.00	32,83	5,30	174,00	33,25	5,40	179,55
13.30.00	32,79	4,40	144,28	33,05	4,40	145,42
14.00.00	32,83	4,10	134,60	33,28	4,10	136,45
14.30.00	32,79	3,00	98,37	33,17	3,00	99,51
15.00.00	31,83	1,20	38,20	32,60	1,20	39,12
15.30.00	31,91	0,40	12,76	31,89	0,40	12,76
16.00.00	31,21	0,00	0,00	31,05	0,00	0,00
16.30.00	31,00	0,00	0,00	30,76	0,00	0,00
17.00.00	29,49	0,00	0,00	28,81	0,00	0,00
17.30.00	26,31	0,00	0,00	25,67	0,00	0,00

\*Pengambilan data di ambil pada tanggal 19 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah tanpa awan.

## Lampiran F.

**Tabel 8.** Data Uji Penjejak Matahari *Fix Based* dengan Reflektor (70°) Bagian-1 menggunakan Fix Panel

Waktu	Fix Panel			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Energi (Watt second)
05.30.00	26,43	0,00	0,00	0,00
06.00.00	27,76	0,00	0,00	0,00
06.30.00	30,88	0,00	0,00	0,00
07.00.00	32,22	0,50	16,11	28998,00
07.30.00	33,07	1,20	39,68	71431,20
08.00.00	33,04	2,60	85,90	154627,20
08.30.00	33,10	3,50	115,85	208530,00
09.00.00	32,86	4,00	131,44	236592,00
09.30.00	32,08	4,60	147,57	265622,40
10.00.00	32,80	4,80	157,44	283392,00
10.30.00	33,01	5,40	178,25	320857,20
11.00.00	32,72	5,70	186,50	335707,20
11.30.00	32,62	5,40	176,15	317066,40
12.00.00	32,57	5,40	175,88	316580,40
12.30.00	32,75	5,20	170,30	306540,00
13.00.00	32,75	5,20	170,30	306540,00
13.30.00	32,64	4,10	133,82	240883,20
14.00.00	32,71	4,20	137,38	247287,60
14.30.00	32,85	2,70	88,70	159651,00
15.00.00	31,08	0,20	6,22	11188,80
15.30.00	31,81	0,10	3,18	5725,80
16.00.00	30,35	0,00	0,00	0,00
16.30.00	30,32	0,00	0,00	0,00
17.00.00	27,31	0,00	0,00	0,00
17.30.00	25,24	0,00	0,00	0,00
Total Energi				3817220,40

\*Pengambilan data di ambil pada tanggal 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah sedikit berawan.

**Tabel 9.** Data Uji Penjejak Matahari *Fix Based* dengan Reflektor (70°) Bagian-2 menggunakan Sistem Penjejak

Waktu	Solar Tracker			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Energi (Watt second)
05.30.00	27,13	0,00	0,00	0,00
06.00.00	29,45	0,00	0,00	0,00
06.30.00	31,94	0,10	3,19	5749,20
07.00.00	32,47	0,60	19,48	35067,60
07.30.00	33,76	2,00	67,52	121536,00
08.00.00	33,23	2,80	93,04	167479,20
08.30.00	33,80	3,60	121,68	219024,00
09.00.00	32,57	4,80	156,34	281404,80
09.30.00	32,24	5,00	161,20	290160,00
10.00.00	32,24	5,40	174,10	313372,80
10.30.00	32,43	5,90	191,34	344406,60
11.00.00	32,14	6,00	192,84	347112,00
11.30.00	32,71	5,80	189,72	341492,40
12.00.00	32,40	5,80	187,92	338256,00
12.30.00	32,80	5,40	177,12	318816,00
13.00.00	32,76	5,40	176,90	318427,20
13.30.00	32,14	4,80	154,27	277689,60
14.00.00	32,32	5,00	161,60	290880,00
14.30.00	32,79	3,30	108,21	194772,60
15.00.00	31,49	0,20	6,30	11336,40
15.30.00	31,42	0,10	3,14	5655,60
16.00.00	31,15	0,00	0,00	0,00
16.30.00	30,71	0,00	0,00	0,00
17.00.00	28,72	0,00	0,00	0,00
17.30.00	26,53	0,00	0,00	0,00
Total Energi				4222638,00

\*Pengambilan data di ambil pada tanggal 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah sedikit berawan.



**Tabel 10.** Data Uji Penjejak Matahari *Fix Based* dengan Reflektor (70°) Bagian-3 menggunakan Penjejak Matahari Bereflektor

Waktu	Solar Tracker Dengan Reflektor (70°)			
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Energi (Watt second)
05.30.00	28,46	0,00	0,00	0,00
06.00.00	29,45	0,00	0,00	0,00
06.30.00	32,24	0,10	3,22	5803,20
07.00.00	32,87	0,50	16,44	29583,00
07.30.00	33,14	2,40	79,54	143164,80
08.00.00	32,96	3,00	98,88	177984,00
08.30.00	32,86	3,80	124,87	224762,40
09.00.00	32,53	5,30	172,41	310336,20
09.30.00	32,56	5,40	175,82	316483,20
10.00.00	32,74	6,00	196,44	353592,00
10.30.00	32,60	6,30	205,38	369684,00
11.00.00	32,44	6,50	210,86	379548,00
11.30.00	32,41	6,40	207,42	373363,20
12.00.00	32,24	6,40	206,34	371404,80
12.30.00	33,04	6,20	204,85	368726,40
13.00.00	32,88	5,70	187,42	337348,80
13.30.00	32,67	5,20	169,88	305791,20
14.00.00	32,44	5,60	181,66	326995,20
14.30.00	32,85	3,90	128,12	230607,00
15.00.00	31,55	0,20	6,31	11358,00
15.30.00	31,02	0,10	3,10	5583,60
16.00.00	31,24	0,00	0,00	0,00
16.30.00	30,90	0,00	0,00	0,00
17.00.00	29,78	0,00	0,00	0,00
17.30.00	27,72	0,00	0,00	0,00
Total Energi				4642119,00

\*Pengambilan data di ambil pada tanggal 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah sedikit berawan.

**Tabel 11.** Data Uji Penjejak Matahari Fix Based dengan Reflektor (70°) Bagian-4 Pembacaan Sensor Sudut Terhadap Pergerakan Panel

Waktu	Pergerakan Panel		NOOA	
	Pitch (°)	Yaw (°)	Pitch (°)	Yaw (°)
05.30.00	72	0	70,00	-16,14
06.00.00	72	0	69,62	-9,14
06.30.00	72	0	68,93	-2,07
07.00.00	72	5	67,91	4,86
07.30.00	72	10	66,55	11,63
08.00.00	62	20	64,77	18,38
08.30.00	62	26	62,50	25,04
09.00.00	62	30	59,61	31,54
09.30.00	53	40	55,90	37,83
10.00.00	53	40	51,12	43,81
10.30.00	53	52	44,9	49,34
11.00.00	53	55	36,78	54,22
11.30.00	22	60	26,35	58,13
12.00.00	22	60	13,54	60,68
12.30.00	354	60	359,15	61,5
13.00.00	354	60	344,87	60,46
13.30.00	324	60	332,32	57,72
14.00.00	324	51	322,18	53,68
14.30.00	311	51	314,32	48,72
15.00.00	311	39	308,29	43,12
15.30.00	296	39	303,66	37,1
16.00.00	296	39	300,07	30,78
16.30.00	296	23	297,26	24,26
17.00.00	296	14	295,06	17,59
17.30.00	296	9	293,34	10,84

\*Pengambilan data di ambil pada tanggal 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca sepanjang hari cerah sedikit berawan.

## Lampiran G.

### Sketch Program Utama

```
unsigned long time;
long lastReadingLog = 0;
float readingInterval = 2000;

#define Dir1      3          // INA motor pin BAWAH
#define Dir2      5          // INB motor pin
#define PWM1      8          // PWM motor pin
#define Dir3      9          // INA motor pin ATAS
#define Dir4     10          // INB motor pin
#define PWM2     13          // PWM motor pin

/*working variables*/
double errorpast_y=0;
double errornow;
double deltaerror;
double errorpast_p=0;

#include "fis_header.h"                //FISFUZZYPSO

// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 9;

FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];

//PASIF
#include <Wire.h>                      //CMPS
```

```

#define ADDRESS 0x61
#define ADDRESSp 0x60

byte highByte, lowByte;
//CMPS10 compass;
float sudutp,suduty,sudutpanutanp,sudutpanutany;

#include <DS3231.h>           //DS1307
DS3231 rtc(SDA,SCL);
Time t;
int cek;
int jam;
int menit;
float nooap[25]={69, 68, 68, 67, 65, 64, 61, 58, 55, 50, 44, 36, 26,
13, 359, 346, 334, 324, 316, 60, 305, 301, 298, 296, 295};
float nooay[25]={0, 0, 0, 85, 79, 72, 66, 60, 53, 47, 42, 37, 33,
100, 300, 180, 303, 307, 312, 300, 323, 329, 336, 342, 349};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();

  pinMode(Dir1, OUTPUT); digitalWrite(Dir1,LOW);
  pinMode(Dir2, OUTPUT); digitalWrite(Dir2,LOW);
  pinMode(PWM1, OUTPUT);
  pinMode(Dir3, OUTPUT); digitalWrite(Dir3,LOW);
  pinMode(Dir4, OUTPUT); digitalWrite(Dir4,LOW);
  pinMode(PWM2, OUTPUT);

  //PASIF RTC void setup
                          // Conects I2C
  rtc.begin();
  rtc.setDOW(SABTU); // Set Day-of-Week to SUNDAY
  rtc.setTime(15, 00, 30); // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
  rtc.setDate(23, 6, 2018);

```

[illegible]

```

start reading from
Wire.endTransmission();

Wire.requestFrom(ADDRESSp, 4);           // Request 4 bytes
from CMPS10
while(Wire.available() < 4);             // Wait for bytes to become
available
highByte = Wire.read();
lowByte = Wire.read();
suduty = ((highByte<<8)+lowByte)/10.0;    // Calculate full
bearing

```

```

// if(sudutp<0.0)
// {
//   sudutp=360.0+sudutp;
// }

```

```

Serial.print("|");
Serial.print(sudutp);
Serial.print("|");
Serial.print(suduty);
Serial.print("|");

```

```

t = rtc.getTime();
jam=t.hour;
menit=t.min;
cek=jam*60+menit;

```

```

//pitch

```

```

if((cek>=330)&&(cek<=1050))
{
sudutpanutanp=nooap[(cek/30)-11];

```

```

Serial.print("|");

```

```

Serial.print(sudutpanutanp);
    errornow = sudutpanutanp-sudutp;
    deltaerror = errornow-errorpast_p;
    errorpast_p = errornow;
    g_fisInput[0] = errornow;
    // Read Input: deltaerror
    g_fisInput[1] = deltaerror;

    g_fisOutput[0] = 0;

    fis_evaluate();

    // Set output vlaue: pwm
    if(g_fisOutput[0]<0)
    {
        digitalWrite(Dir3,LOW);
        digitalWrite(Dir4,HIGH);
        g_fisOutput[0]=g_fisOutput[0]*-1;
    }
    else if (g_fisOutput[0]>0)
    {
        digitalWrite(Dir3,HIGH);
        digitalWrite(Dir4,LOW);
    }
    analogWrite(PWM2 , g_fisOutput[0]); //DI ISI
    Serial.print("|");
    Serial.print(g_fisOutput[0]);

//yaw
    sudutpanutany=nooay[(cek/30)-11];
    Serial.print("|");
    Serial.print(sudutpanutany);
    errornow = sudutpanutany-suduty;
    deltaerror = errornow-errorpast_y;
    errorpast_y = errornow;
    g_fisInput[0] = errornow;

```

```

// Read Input: deltaerror
g_fisInput[1] = deltaerror;
if(g_fisInput[0]>80)
{
    g_fisInput[0]=80;
}
else if(g_fisInput[0]<-80)
{
    g_fisInput[0]=-80;
}

if(g_fisInput[1]>80)
{
    g_fisInput[1]=80;
}
else if(g_fisInput[1]<-80)
{
    g_fisInput[1]=-80;
}

g_fisOutput[0] = 0;

fis_evaluate();

if(g_fisOutput[0]<0)
{
    digitalWrite(Dir1,HIGH);
    digitalWrite(Dir2,LOW);
    g_fisOutput[0]=g_fisOutput[0]*-1;
}
else if (g_fisOutput[0]>0)
{
    digitalWrite(Dir1,LOW);
    digitalWrite(Dir2,HIGH);
}

```



```

        //Set output vlaue: pwm
        analogWrite(PWM1 , g_fisOutput[0]); //DI ISI
        Serial.print("|");
        Serial.println(g_fisOutput[0]);
    }
    delay(100);
}

```

### **Sketch Program** **Deklarasi fis\_header**

```

#define FIS_TYPE float
#define FIS_RESOLUTION 101
#define FIS_MIN -3.4028235E+38
#define FIS_MAX 3.4028235E+38
typedef FIS_TYPE(*_FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE, FIS_TYPE);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR)(FIS_TYPE*, int,
_FIS_ARR_OP);

```

### **Sketch Program** **Deklarasi functions for Fuzzy Inference System**

```

// Support functions for Fuzzy Inference System
// Trapezoidal Member Function

FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ? ((d - x) /
(d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ? ((x - a) /
(b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}

```

// Triangular Member Function

```
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}
```

```
FIS_TYPE fis_prod(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a * b);
}
```

```
FIS_TYPE fis_probor(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a + b - (a * b));
}
```

```
FIS_TYPE fis_sum(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return (a + b);
}
```

```
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size,
_FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
```

```

    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

// Data for Fuzzy Inference System
// Pointers to the implementations of member functions

_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trapmf, fis_trimf
};

// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 3, 3 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 5 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -80, -80, -2, -1.15374 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -1.74252, 0, 1.594822 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 1.333171, 2, 80, 80 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1,
    fis_gMFI0Coeff2, fis_gMFI0Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -80, -80, -2, -1.154 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -1.743, 0, 1.595 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { 1.333, 2, 80, 80 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1,
    fis_gMFI1Coeff2, fis_gMFI1Coeff3 };

```

```
FIS_TYPE**    fis_gMFICoeff[]    =    {    fis_gMFI0Coeff,  
fis_gMFI1Coeff };
```

```
// Coefficients for the Output Member Functions
```

```
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { 0, 0, -255 };
```

```
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { 0, 0, -200 };
```

```
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 0, 0, 0 };
```

```
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff4[] = { 0, 0, 200 };
```

```
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff5[] = { 0, 0, 255 };
```

```
FIS_TYPE*    fis_gMFO0Coeff[]    =    {    fis_gMFO0Coeff1,  
fis_gMFO0Coeff2,    fis_gMFO0Coeff3,    fis_gMFO0Coeff4,  
fis_gMFO0Coeff5 };
```

```
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff };
```

```
// Input membership function set
```

```
int fis_gMFI0[] = { 0, 1, 0 };
```

```
int fis_gMFI1[] = { 0, 1, 0 };
```

```
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1 };
```

```
// Output membership function set
```

```
int* fis_gMFO[] = {};
```

```
// Rule Weights
```

```
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };
```

```
// Rule Type
```

```
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };
```

```
// Rule Inputs
```

```
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
```

```
int fis_gRI1[] = { 1, 2 };
```

```
int fis_gRI2[] = { 1, 3 };
```

```
int fis_gRI3[] = { 2, 1 };
```

```
int fis_gRI4[] = { 2, 2 };
```

```
int fis_gRI5[] = { 2, 3 };
```

```
int fis_gRI6[] = { 3, 1 };
int fis_gRI7[] = { 3, 2 };
int fis_gRI8[] = { 3, 3 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4,
fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8 };
```

```
// Rule Outputs
```

```
int fis_gRO0[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 2 };
int fis_gRO2[] = { 3 };
int fis_gRO3[] = { 2 };
int fis_gRO4[] = { 3 };
int fis_gRO5[] = { 4 };
int fis_gRO6[] = { 3 };
int fis_gRO7[] = { 4 };
int fis_gRO8[] = { 5 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3,
fis_gRO4, fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8 };
```

```
// Input range Min
```

```
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -80, -80 };
```

```
// Input range Max
```

```
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 80, 80 };
```

```
// Output range Min
```

```
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { 0 };
```

```
// Output range Max
```

```
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 1 };
```

```
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
```

```
// None for Sugeno
```

```
// Fuzzy Inference System
```

```
void fis_evaluate()
```

```
{
```

```

FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1,
};
FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
FIS_TYPE sW = 0;

// Transforming input to fuzzy Input
int i, j, r, o;
for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
{
    for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
    {
        fuzzyInput[i][j] =
            (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i],
fis_gMFCoeff[i][j]);
    }
}

int index = 0;
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
    if (fis_gRType[r] == 1)
    {
        fuzzyFires[r] = 1;
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            index = fis_gRI[r][i];
            if (index > 0)
                fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
            else if (index < 0)

```

```

        fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
    else
        fuzzyFires[r] = fis_prod(fuzzyFires[r], 1);
    }
}
else
{
    fuzzyFires[r] = 0;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_probor(fuzzyFires[r], 0);
    }
}

fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{

```

```

for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
{
    FIS_TYPE sWI = 0.0;
    for (j = 0; j < fis_gOMFCount[o]; ++j)
    {
        fuzzyOutput[o][j] = fis_gMFOCoeff[o][j][fis_gcI];
        for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
        {
            fuzzyOutput[o][j]      +=      g_fisInput[i]      *
fis_gMFOCoeff[o][j][i];
        }
    }

    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        index = fis_gRO[r][o] - 1;
        sWI += fuzzyFires[r] * fuzzyOutput[o][index];
    }

    g_fisOutput[o] = sWI / sW;
}
}
}

```





Nama Penulis Moh. Danni Aditya dengan nama panggilan Danni. Penulis dilahirkan di Nganjuk pada tanggal 11 Oktober 1995 sebagai anak kedua dari dua bersaudara hasil pernikahan antara Sucipto dengan Nurul Samsiyah. Penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat dasar di SDN Singkalanyar 2 Prambon Nganjuk pada tahun 2008, pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Prambon Nganjuk pada tahun 2011 dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Kediri pada tahun 2014. Penulis diterima sebagai mahasiswa S1 Teknik Fisika ITS pada tahun 2014. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi di Kopma Dr Angka ITS dan Laboratorium Pengukuran Fisis Departemen Teknik Fisika ITS serta aktif ikut kepanitian dari kegiatan yang ada di ITS. Penulis memiliki focus bidang minat rekayasa instrumentasi dan kontrol untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Apabila ada saran, kritik ataupun diskusi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi melalui kontak email [dannitf.its@gmail.com](mailto:dannitf.its@gmail.com)